

А. А. Шур

Ближний и дальний прием телевидения

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1171

А. А. Шур

Ближний и дальний прием телевидения

2-е издание
переработанное и дополненное



Москва
«Радио и связь» 1991

ББК 32.94
Ш 97
УДК 621.397.13.0[illegible]

Рецензент канд. техн. наук С. К. Сотников

Шур А. А.

Ш 97 Ближний и дальний прием телевидения. — М.: Радио и связь, 1991. — 88 с.: ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1171).

ISBN 5-256-00536-7.

Рассмотрены особенности распространения ультракоротких радиоволн в телевидении Описаны случаи приема телепередач на берегу моря, на ровной и холмистой местности, в горах и больших городах при различных расстояниях от передающей станции — в зоне «уверенного приема» и далеко за ее пределами Даны рекомендации по выбору и установке антенн для телевизора Рассказано о влиянии помех на качество изображения. Приведены простые примеры расчета уровня сигнала. В отличие от первого издания (1980 г.) новое дополнено сведениями о построении телевизионной сети, кабельном телевидении, индустриальных помехах и др.

Для широкого круга радиолюбителей

Ш $\frac{2303040502-074}{046(01)-91}$ 106-91 **ББК 3294**

Научно-популярное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1171

ШУР Анатолий Абелевич

БЛИЖНИЙ И ДАЛЬНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Руководитель сектора МРБ И. Н. Суслова
Редактор О. В. Воробьева
Художник А. С. Дзуцев
Художественный редактор Н. С. Шеин
Технический редактор З. Н. Ратникова
Корректор Т. В. Дземидович

ИБ № 2179

Сдано в набор 8.01.91 Подписано в печать 29.03.91
Формат 60×90 1/16 Бумага тип. № 2 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 5,50 Усл. кр.-отт. 5.88 Уч.-изд. л. 6.94
Тираж 60 000 экз. Изд. № 23047 Зак. № 3 Цена 2 р.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь». 101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

ISBN 5-256-00536-7

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Радиоволны телевизионных каналов

Полоса частот, занимаемая ТВ каналом. Часто можно слышать, что радиостанция работает на такой-то частоте f. Такое выражение можно считать правильным лишь условно. Во время передачи любая радиостанция, а тем более телевизионная, излучает не одну, а целую группу частот, т. е. занимает в эфире полосу частот. Чем «сложнее» сигнал и выше скорость его передачи, тем шире полоса излучаемых частот. Так, при телеграфной передаче азбукой Морзе со скоростью 5—10 слов в минуту излучается полоса частот шириной 10 ... 20 Гц, а если увеличить скорость в несколько раз, то полоса уже будет измеряться сотнями герц. При передаче речи излучается полоса частот около 5 кГц (например, 200 ... 205 кГц). Естественно, чтобы не было искажений передаваемого сигнала, аппаратура (передатчик, приемник) и тракт распространения радиоволн должны пропустить всю, или почти всю, его полосу частот. Для одного радиотелефонного канала достаточна полоса частот около 3 кГц, для одной радиовещательной программы (речь, музыка) около 9 кГц. В действительности диапазоны частот звуковых колебаний, возбуждаемые разными источниками, могут быть шире. Так, скрипичная музыка содержит группу частот 20 Гц ... 15 кГц. При полосе частот 9 кГц могут «отрезаться» наиболее высокие или низкие частоты, но общий характер звучания передается достаточно точно. Для телевидения в Советском Союзе принят стандарт, согласно которому максимальное число передаваемых в 1 с элементов изображения (точек) равно 6,25 млн. Соответственно полоса частот сигнала изображения составляет примерно 6 МГц. Эти значения полос пропускания имеют место только при амплитудной модуляции (АМ) сигнала. Амплитудная модуляция сигнала характерна тем, что мощность звукового передатчика изменяется во времени пропорционально громкости звука. Чем сильнее звук у микрофона, тем больше мощность. В телевизионном передатчике мощность изменяется пропорционально яркости передаваемого элемента. Существует и другая модуляция — частотная (ЧМ), при которой пропорционально громкости звука меняется частота передатчика.

Частотно-модулированный сигнал позволяет получить более высокое качество звучания, избавиться от атмосферных и индустриальных помех, но занимает бо́льшую полосу частот. На передающей ТВ станции для передачи одной программы имеется два передатчика. Один из них передает электрические сигналы изображения с АМ, другой — звук с ЧМ. Несущая частота (частота при отсутствии модуляции) передатчика звука $f_{зв}$ отстоит от несущей частоты передатчика изображения $f_{из}$ на 6,5 МГц. Девиация (отклонение при модуляции) частоты звука достигает ±50 кГц. В результате полная ширина частотного ТВ канала Δf составляет 8 МГц (рис. 1).

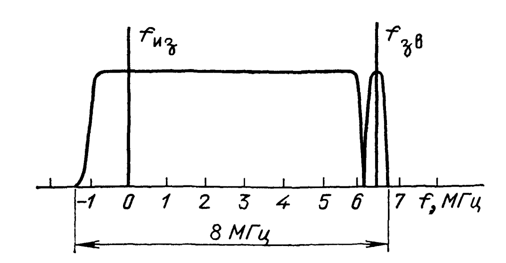


Рис. 1. Полоса частот телевизионного канала

Выбор диапазона частот для телевидения. При делении радиоволн на диапазоны исходят из качественных особенностей распространения, способа их генерирования, излучения и приема. Однако при переходе от одного диапазона к другому не всегда наблюдаются существенные изменения, поэтому границы диапазонов условны. Для простоты они обозначаются круглыми, легко запоминающимися цифрами. Длинные волны занимают диапазон 10 000 ... ... 1000 м, что соответствует частотам 30 ... 300 кГц; средние — 1000 ... 100 м (300 кГц ... 3 МГц); короткие — 100 ...10 м, (3 ... 30 МГц); ультракороткие — 10 м ... 1 см (30 ... 30 000 МГц). Ультракороткие волны (УКВ), в свою очередь, подразделяются на три поддиапазона: метровые волны (1 ... 10 м), дециметровые волны (10 ... 100 см) и сантиметровые волны (1 ... 10 см).

Передать даже один ТВ канал шириной 8 МГц ни на длинных, ни на средних волнах нельзя. Ширина полосы частот в первом случае составляет всего 0,27 МГц, во втором — 2,7 МГц. У коротких волн ширина 27 МГц, и поэтому можно было бы передать три ТВ канала (8·3 = 24 МГц), но это нереально. Во-первых, три канала недостаточно. Во-вторых, условия распространения коротких волн случайны, они распространяются на большие расстояния по нескольким траекториям вследствие их отражения от ионосферных слоев и земной поверхности. При передаче ТВ сигнала на экране будет несколько изображений (по числу приходящих лучей), сдвинутых относительно друг друга. Расстояние между контурами изображений будет меняться произвольно, поэтому для ТВ вещания были выбраны УКВ. Главное их преимущество — возможность передачи большого числа ТВ каналов. Прием сигнала отличается высокой устойчивостью, но это реализуется в основном при наличии прямой видимости между антеннами передатчика и приемника (об этом будет сказано ниже).

Зависимость между частотой (МГц) и длиной волны (м):

$$f = 300/\lambda.$$

Полосы частот и средняя длина волны ТВ каналов в соответствии с принятым в Советском Союзе стандартом даны в табл. 1. Из таблицы видно, что ТВ каналы 1—12 расположены в диапазоне метровых волн, а каналы выше 21-го — в диапазоне дециметровых волн. Частоты 66 ... 73 МГц не используются для телевидения. Они предназначены для звукового вещания с ЧМ.

Используемые для ТВ вещания частоты, кроме того, условно разбиты на пять диапазонов, называемых также полосами (они обозначаются римскими цифрами). В диапазон I входят каналы 1 и 2; в диапазон II — каналы 3, 4 и 5; в диапазон III — каналы 6—12; в диапазон IV — каналы 21—34; в диапазон V — каналы 35—81. (Частоты последующих каналов легко вычислить, учитывая, что ширина каждого канала 8 МГц.)

Таблица 1

Номер канала	f, МГц	λ, м	Номер канала	f, МГц	λ, м
1	48,5 ... 56,5	5,72	25	502 ... 510	0,593
2	58 ... 66	4,84	26	510 ... 518	0,584
3	76 ... 84	3,75	27	518 ... 526	0,574
4	84 ... 92	3,41	28	526 ... 534	0,566
5	92 ... 100	3,13	29	534 ... 542	0,558
6	174 ... 182	1,68	30	542 ... 550	0,549
7	182 ... 190	1,61	31	550 ... 558	0,541
8	190 ... 198	1,55	32	558 ... 566	0,534
9	198 ... 206	1,48	33	566 ... 574	0,526
10	206 ... 214	1,43	34	574 ... 582	0,519
11	214 ... 222	1,37	35	582 ... 590	0,512
12	222 ... 230	1,32	36	590 .. 598	0,505
21	470 ... 478	0,632	37	598 ... 606	0,498
22	478 ... 486	0,622	38	606 ... 614	0,492
23	486 ... 494	0,612	39	614 ... 622	0,485
24	494 ... 502	0,602	40	622 ... 630	0,479

Основные свойства УКВ. Телевизионный сигнал содержит группу частот, но во многих случаях можно рассматривать одну среднюю частоту, или среднюю длину волны сигнала.

Что собой представляет электромагнитная волна? Если в спокойную воду бросить камень, то на ее поверхности образуются расходящиеся кругами волны. Они движутся от источника их возникновения (возмущения) с определенной скоростью. Для электромагнитных волн возмущениями являются распространяющиеся в пространстве взаимно связанные электрические и магнитные поля. Меняющееся во времени электрическое поле обязательно вызывает магнитное поле, и наоборот. Источником электромагнитных волн является провод (антенна), в котором происходит колебание электрических зарядов. Процесс формирования этих полей, начавшийся вблизи провода, постепенно захватывает все пространство. Скорость распространения радиоволн в безвоздушном пространстве является постоянной величиной и равна скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Электрическая и магнитная составляющие электромагнитного поля характеризуются векторами E и H, которые показывают напряженности этих полей и их направление. Векторы E и H в каждой точке пространства и вдоль направления распространения волны непрерывно изменяются во времени в соответствии с законом изменения тока в проводнике, возбудившего электромагнитную волну (рис. 2). Произведение векторов E и H определяет плотность потока мощности электромагнитной волны, при этом E выражается в вольтах на метр (В/м), а H — в амперах на метр (А/м). Напряженности электрического или магнитного поля связаны между собой определенным соотношением.

В практике телевидения обычно используют понятие — напряженность электрического поля. При этом малые единицы связаны с основной единицей следующим образом: 1 В/м $= 10^3$ мВ/м $= 10^6$ мкВ/м, где мВ/м обозначает милливольт на метр, мкВ/м — микровольт на метр. Напряженность поля на практике часто выражается в децибелах относительно 1 мкВ/м; E (дБ) =

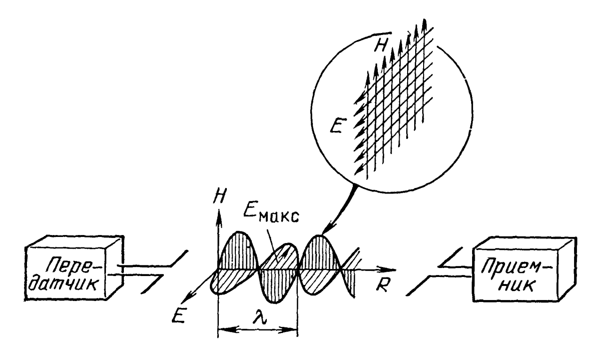


Рис. 2. Структура электромагнитной волны (вверху показан фронт волны в плоскости, перпендикулярной направлению движения)

$=20 \lg E$ (мкВ/м). Например· 1000 мкВ/м соответствует 60 дБ, 1 мкВ/м — 0 дБ.

Если известно значение напряженности поля в децибелах, то для определения его в микровольтах на метр применяется формула

$$E = 10^{E(дБ)/20}, \text{ мкВ/м}.$$

Очевидно, что 0 дБ соответствует 1 мкВ/м, 10 дБ — 3,16 мкВ/м, 20 дБ — 10 мкВ/м и т. д. Выражение напряженности поля в децибелах значительно упрощает построение графиков, так как в этом случае нет необходимости построения логарифмической шкалы,

Радиоволны, распространяясь от передающей антенны, приходят в различные точки пространства с запаздыванием во времени, которое определяется величиной R/c, где R — пройденное волной расстояние.

Так, если в точке расположения передающей антенны мгновенное значение напряженности электрического поля изменяется во времени по гармоническому закону, то на расстоянии R от антенны мгновенное значение напряженности поля будет определяться формулой

$$E = E_{макс} \cos 360° f \left(t - \frac{R}{c} \right),$$

где f — частота (число колебаний в секунду). Выражение

$$360° f \left(t - \frac{R}{c} \right)$$

определяет фазу электрического поля В рассматриваемый момент запаздывание, равное R/c, будет соответствовать сдвигу фазы волны на 360° R/λ. Скорость распространения радиоволн в данном случае является скоростью распространения фазы.

Поверхность, все точки которой в каждый данный момент характеризуются одинаковыми значениями фазы, называется *фронтом волны.* Фронт волны, создаваемый антенной, является сферическим. Однако на большом расстоянии от антенны сравнительно небольшой участок фронта можно приближенно рассматривать как плоский, Графическое изображение фронта радиоволны в одном сечении (поперек направления движения волны) показано на рис. 2 сверху,

Поляризация радиоволны. На рис. 2 вибратор передающей антенны нарисован горизонтально к земной поверхности. При этом силовые линии и вектор электрического поля будут расположены аналогично. Данный случай соответствует *горизонтальной поляризации радиоволн. Вертикально поляризованными волнами* называют волны, у которых электрические силовые линии перпендикулярны к земной поверхности. Такие волны создаются вертикальными вибраторами. Очевидно, для большого уровня сигнала горизонтально поляризованных волн на приеме следует применять горизонтальные вибраторы, а для вертикально поляризованных волн — вертикальные. Для того чтобы избавиться от влияния мешающего сигнала станции, вибраторы приемной антенны располагают перпендикулярно вибраторам передающей антенны. В таком случае излучаемое поле не должно наводить сигнал в приемной антенне. Однако на практике полного подавления мешающего сигнала не происходит из-за вертикальных элементов в конструкции антенн и некоторого изменения поляризации излучаемой волны в процессе распространения.

Скорость распространения радиоволн (скорость фазы). Как и во всяком диэлектрике, скорость распространения радиоволн в воздухе меньше скорости в безвоздушном пространстве:

$$v = c/\sqrt{\varepsilon}, \qquad (1)$$

где ε — диэлектрическая проницаемость воздуха, которая очень мала, но оказывает заметное влияние на траекторию радиоволн (см. далее — атмосферная рефракция).

Отражение радиоволн. Только в однородной среде радиоволны распространяются по прямолинейным траекториям. При переходе из одной среды в другую (свойства которых различны) радиоволны испытывают отражение и преломление (искривление). Например, отражение и преломление УКВ происходит тогда, когда на их пути лежит земная поверхность. Преломленная волна соответствует частичному переходу электромагнитной энергии в землю. Поглощение УКВ в почве и воде велико, поэтому преломленная волна для практики не представляет интереса. Если поверхность земли сравнительно гладкая (поле, луг, водоем), то отражение радиоволн от нее происходит по известному закону оптики — **угол падения равен углу отражения.** При технических расчетах удобнее пользоваться не углом падения, а дополнительным к нему углом α, который называют **углом скольжения** (рис. 3). Отраженная волна формируется не геометрической точкой, а некоторой частью поверхности. Интенсивность отражения характеризуется коэффициентом отражения Ф, который можно определить по формуле

$$\Phi = E_{отр}/E_{пад},$$

где: $E_{отр}$, $E_{пад}$ — амплитуды напряженности поля отраженной и падающей волн.

Коэффициент отражения от ровной земной поверхности зависит от многих причин: поляризации падающей волны, угла скольжения и длины волны. Для радиоволн, о которых идет речь, эта зависимость показана на рис. 4. Из этого рисунка видно, что коэффициент отражения имеет большее значение при горизонтальной поляризации и при малых углах скольжения. Вертикально поляризованные волны, падающие под некоторым углом, не отражаются, а полностью уходят в землю. Этот угол, называемый *углом полного преломления,*

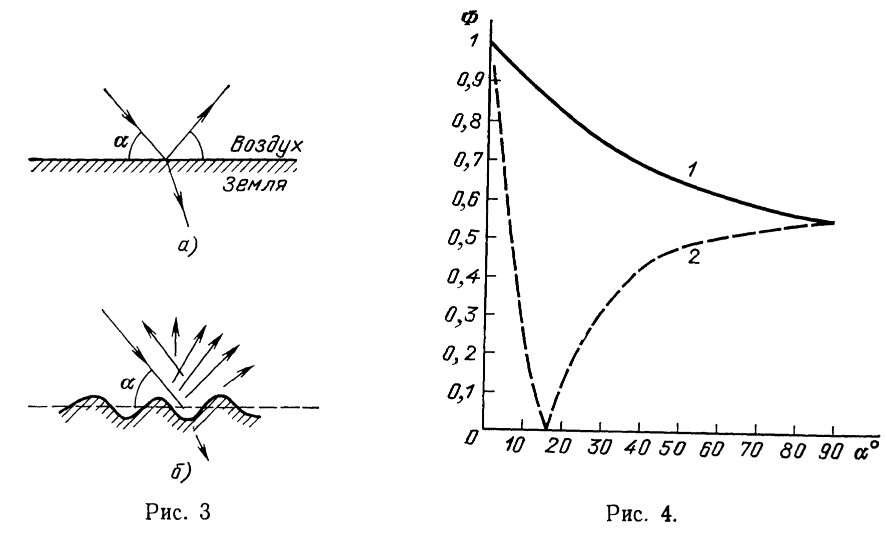


Рис. 3 Рис. 4.

Рис. 3. Отражение радиоволн:
а — зеркальное от ровной поверхности; *б* — диффузное (рассеянное) от неровной поверхности

Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения радиоволн от угла скольжения для ровной земной поверхности:
1 — горизонтальная поляризация; 2 — вертикальная

на рис. 4 равен 16°. Он зависит от типа почвы: при отражении от сухой почвы угол полного преломления равен 17°, от воды 5°. Земную поверхность можно считать для радиоволн ровной, если средняя высота неровностей местности

$$h \leqslant \lambda / 8\alpha,$$

где α, рад. При невыполнении этого условия коэффициент отражения будет меньше, чем указано на рис. 4, из-за рассеяния радиоволн.

Неровная (шероховатая) поверхность представляет собой ряд случайно расположенных отражающих элементов. Отражение волн от элементов происходит по различным направлениям, поэтому оно является рассеянным (диффузным) (см. рис. 3,*б*). Из последней формулы следует, что влияние неровностей сильно зависит от длины волны. Аналогом шероховатой поверхности для дециметровых волн может служить местность, покрытая кустарником, волны на водной поверхности, густо застроенные районы города и т. п. Влияние угла скольжения на отражение волн можно наблюдать на примере: лист бумаги при обычном рассмотрении кажется матовым, если посмотреть на него под очень малым углом скольжения, то он кажется блестящим вследствие зеркального отражения.

Интерференция (наложение) радиоволн. Над ровной земной поверхностью при наличии прямой видимости к приемной антенне от передающей станции приходят две волны (рис. 5). Одна волна — прямая, распространяется по кратчайшему пути АВ, другая проходит более длинный путь АСВ, отражаясь от земной поверхности. Результирующая напряженность поля определяется

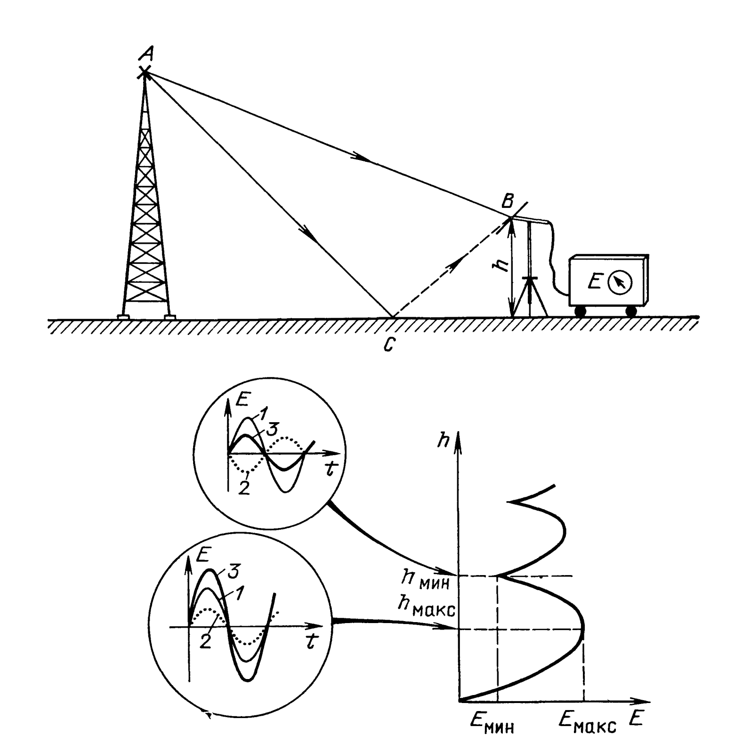


Рис. 5. Интерференция радиоволн (амплитуды прямой (1) и отраженной волн (2) складываются, если имеют одну и ту же фазу, и вычитаются, если их фазы противоположны)

разностью фаз этих волн и может оказаться либо больше, либо меньше напряженности поля каждой волны. Фаза прямой волны на всем пути распространения изменяется на 360° AB/λ градусов. Фаза отраженной волны изменяется на 360° ACB/λ+180° градусов. Поворот фазы на 180° происходит при отражении волны от земли. Если к приемной антенне подключить измеритель напряженности поля и поднимать антенну, то можно фиксировать чередующиеся максимумы и минимумы напряженности поля. Напряженность поля сначала возрастает, затем уменьшается, снова возрастает, снова уменьшается и т. д. В тех точках приема, где фазы волн совпадают, их амплитуды E_1 и E_2 складываются, отмечается максимум напряженности поля $E_{макс}=E_1+E_2$ (этот случай поясняется на рис. 5 в нижнем кружке). Изменение амплитуды прямой волны показано тонкой сплошной линией; отраженной волны — точками; суммарной волны — жирной сплошной линией. Минимум напряженности поля будет отмечаться в тех точках, где прямая и отраженная волны находятся в противофазе, $E_{мин}=E_1-E_2$ (этот случай поясняется на рис. 5 в верхнем кружке).

Явление интерференции легко наблюдать и без измерителя напряженности поля. При установке антенны телевизора в максимум напряженности поля изображение становится более контрастным. Если переместить антенну в минимум напряженности поля, изображение становится бледным, появляются посторонние сигналы, шумы и помехи. В случае равной интенсивности интер-

ферирующих волн изображение полностью исчезает. Для практики представляет интерес определение высоты максимума. Высоту приемной антенны, при которой наблюдается первый, т. е. ближайший к земле, максимум поля можно вычислить по формуле

$$h_{макс}=\lambda R/4h_1, \qquad (2)$$

где h_1 — высота передающей антенны, м; R — расстояние между пунктами передачи и приема, м; λ — средняя длина волны сигнала, м Второй максимум будет на высоте в 3 раза большей высоты первого максимума, третий максимум — на высоте в 5 раз большей высоты первого максимума и т. д. Формула (2) справедлива только до тех пор, пока земную поверхность можно считать плоской, т. е. приблизительно до R = 20 км. Для больших расстояний простого расчета нет. Для этой цели может служить график (см. рис. 43) в разделе «Распространение ТВ сигналов над ровной земной поверхностью», там же показывается, что интерференционные максимумы и минимумы наблюдаются не только при изменении высоты антенны, но и при изменении расстояния между антеннами.

Пример. Передающая ТВ станция работает в ТВ канале 12 (λ = 1,32 м). Высота антенны станции 180 м. Расстояние до станции 4,5 км. Местность ровная (поля, луга). Требуется определить высоту приемной антенны, при которой отмечается ближайший к земле максимум напряженности поля.

Используя формулу (2), находим

$$h_{макс}=\frac{1,32\cdot 4500}{4\cdot 180}=8,25\ м.$$

Дифракция радиоволн. Это отклонение радиоволн вблизи края непрозрачного (для радиоволн) препятствия от первоначального направления движения. Проходя возле края препятствия, волна как бы огибает его вершину, в результате чего часть энергии радиоволн попадает в зону тени. Край препятствия является повторным источником радиоволн, своеобразным пассивным ретранслятором. В случае световых волн наблюдается аналогичное явление, поэтому говорят, что край препятствия «светится».

Дифракция радиоволн в большой степени зависит от длины волны сигнала и толщины (радиуса кривизны) вершины препятствия. Чем длиннее волна и уже вершина препятствия, тем больший уровень сигнала регистрируется в зоне тени. Большим препятствием является, например, шаровой сегмент земного шара. Наименьшее препятствие — горный хребет, имеющий форму одиночного клина, вершина которого видна из пунктов передачи и приема.

Эффект дифракции УКВ волн поясняется рис. 6 Приемная антенна расположена за клинообразным холмом. К ней подключен измеритель напряженности поля Высота антенны может быть различной В данном случае на напряженность поля сигнала будет оказывать влияние просвет Н, определяемый как расстояние между вершиной препятствия и линией визирования. *Линией визирования* называют прямую линию АВ, соединяющую центры антенн. При отсутствии прямой видимости просвет берется со знаком минус, при наличии видимости — со знаком плюс. График зависимости напряженности поля от просвета показывает, что напряженность поля с уменьшением препятствия возрастает. В освещенной зоне наблюдаются чередующиеся максимумы и минимумы поля, после чего напряженность достигает значения E_0, которое было

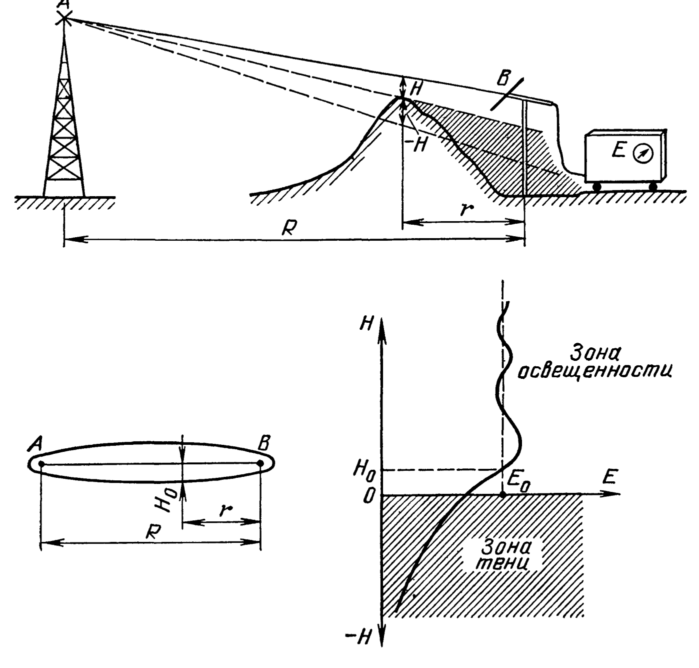


Рис. 6. Дифракция радиоволн

бы при отсутствии препятствия (в условиях свободного пространства). Максимумы и минимумы поля в зоне освещенности вызваны интерференцией прямой волны, проходящей над препятствием, и волны, переизлученной вершиной препятствия. Вершина препятствия переизлучает волну не только в зону тени, но и в освещенную зону. Важно обратить внимание на то, что при касании линии визирования вершины препятствия (H=0) напряженность поля еще не достигает наибольшего значения. Для получения напряженности поля такой же, как при отсутствии препятствия, требуется положительный просвет, равный

$$H_0 = \sqrt{\frac{\lambda r}{3}\left(1 - \frac{r}{R}\right)}, \qquad (3)$$

где λ — длина волны сигнала, м; r — расстояние от приемной антенны до вершины препятствия, м; R — длина всей трассы, м. Основная доля энергии радиоволн сосредоточена не в бесконечно тонком луче, как часто рисуют на эскизах, а занимает определенную область пространства вокруг линии визирования. Область имеет форму сильно вытянутого эллипсоида вращения с изменяющимся по длине радиусом H_0 (на рис. 6 слева). Когда просвет $H=H_0$, то эллипсоид не затеняется препятствием и потерь практически нет.

Пример. Перед приемной антенной на расстоянии r=100 м имеется препятствие — холм. Расстояние до передающей ТВ станции R=80 км; длина волны сигнала λ=1,55 м (ТВ канал 8). На какую высоту надо поднять антенну над холмом, чтобы получить напряженность поля такую же, как при отсутствии препятствия?

По формуле (3) находим

$$H_0 = \sqrt{\frac{1{,}55\cdot 100}{3}\left(1 - \frac{100}{80\,000}\right)} \approx 7 \text{ м}.$$

Атмосферная рефракция радиоволн. Так называется искривление (преломление) траектории радиоволн при распространении в воздушной оболочке Земли. Рефракция происходит в основном в нижних слоях атмосферы, которую называют тропосферой. Тропосфера окружает Землю слоем толщиной примерно 12 км (8 км у полюсов, 16 км у экватора). В этом слое сосредоточен почти весь водяной пар атмосферы, здесь образуются восходящие и нисходящие потоки воздуха, формируются облака и процессы, влияющие на изменение погоды.

Диэлектрическая проницаемость воздуха зависит от его влажности, температуры и давления. Известны формулы, позволяющие рассчитывать диэлектрическую проницаемость по этим параметрам. Чтобы определить, как изменяется диэлектрическая проницаемость тропосферы, разработаны специальные приборы — рефрактометры. При установке рефрактометров на летающих аппаратах было обнаружено, что диэлектрическая проницаемость воздуха с высотой в течение времени изменяется. В большей части времени года при нормальном состоянии тропосферы значение диэлектрической проницаемости воздуха у земной поверхности отличается от единицы всего на несколько миллионных долей ($\varepsilon = 1{,}000578$). С увеличением высоты диэлектрическая проницаемость уменьшается, стремясь к единице. Такое незначительное изменение диэлектрической проницаемости воздуха с изменением высоты приводит к нормальной рефракции, так как верхняя часть фронта излученной волны, находясь в электрически менее плотной среде, приобретает большую фазовую скорость, чем нижняя [см. формулу (1)]. Поэтому траектория волны искривляется в сторону Земли (рис. 7).

Под влиянием метеорологических факторов в тропосфере иногда возникают существенные отклонения от нормальных условий. Могут, например, возникнуть условия, когда искривление траектории волны в сторону Земли будет сильнее, чем обычно, — это повышенная положительная рефракция. Возможны условия, при которых диэлектрическая проницаемость воздуха с высотой не изменяется или даже возрастает. В те периоды, когда диэлектрическая проницаемость воздуха с высотой не изменяется, распространение радиоволн происходит по прямой линии (рефракция отсутствует). При возрастании диэлектрической проницаемости траектория радиоволн представляет собой вогнутую дугу — волна удаляется от земной поверхности. Такой случай называют отрицательной рефракцией. Это происходит потому, что нижняя часть фронта излученной волны, находясь в электрически менее плотной среде, приобретает большую скорость, чем нижняя. Изменение атмосферной рефракции происходит медленно.

Явление атмосферной рефракции характерно не только для радиоволн, но и для световых лучей. Благодаря рефракции человек, стоящий на берегу моря, может видеть диск Солнца, находящийся за горизонтом.

Расстояние прямой видимости. Это расстояние между передающей и приемной антеннами, при котором они «видят» друг друга. Определение расстояния прямой видимости на практике очень важно. Дело в том, что, пока меж-

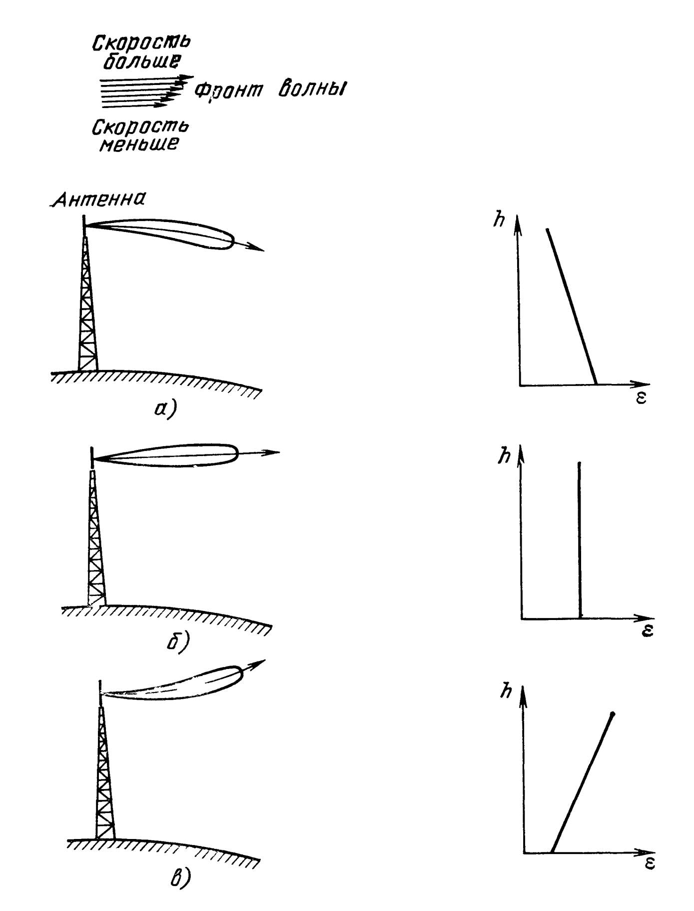


Рис. 7. Виды рефракции:

а — положительная рефракция, *б* — отсутствие рефракции; *в* — отрицательная рефракция (справа показаны соответствующие изменения диэлектрической проницаемости воздуха по высоте ε)

ду антеннами имеется прямая видимость, потери уровня сигнала сравнительно невелики. Как только прямая видимость пропадает, приемная антенна попадает в тень препятствия, потери сигнала существенно возрастают. Расстояние прямой видимости зависит от высоты антенн, рельефа местности и рефракции радиоволн.

На рис. 8 показаны условия приема УКВ в трех пунктах. В пункте А антенна находится в зоне прямой видимости или, иначе, в «освещенной» зоне. Очевидно, здесь имеются благоприятные условия для приема. В пункте С антенна находится за пределами прямой видимости, в зоне «тени». Удовлетворительный прием здесь затруднен. В точке В антенна находится на грани прямой видимости в зоне «полутени». На рис. 8,*а* показан редкий случай, когда рефракция отсутствует.

При нормальном состоянии тропосферы наблюдается положительная рефракция, при которой расстояние прямой видимости получается больше, чем

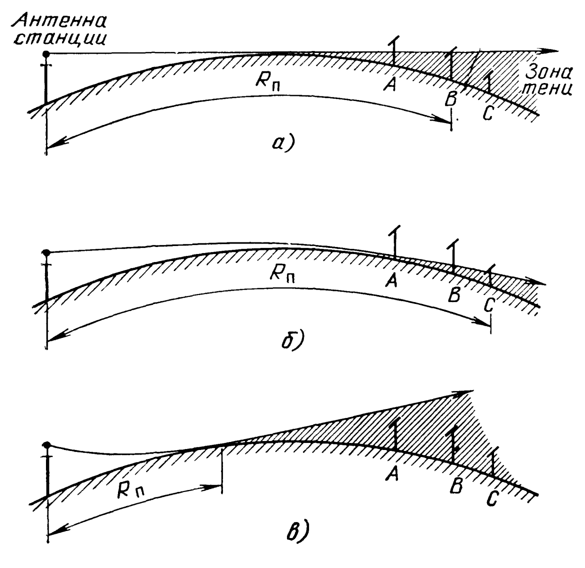


Рис. 8. Влияние атмосферной рефракции на расстояние прямой видимости:
а — при отсутствии рефракции; *б* — при положительной рефракции; *в* — при отрицательной рефракции

при отсутствии рефракции, примерно в 1,15 раза (рис. 8,*б*). Максимальное расстояние прямой видимости на гладкой земной поверхности, км, определяется по формуле

$$R_п = 4{,}1\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \qquad (4)$$

где h_1 и h_2 — высота передающей и приемной антенн, м. Если опора (башня, мачта) передающей антенны установлена на возвышенности, господствующей над окружающей местностью, то под высотой h_1 надо понимать сумму высот опоры и возвышенности.

Пример. Передающая антенна находится на мачте высотой 100 м. Мачта установлена на вершине холма высотой 200 м. Определим расстояние прямой видимости при $h_2 = 10$ м:

$$R_п = 4{,}1 \cdot (\sqrt{200+100} + \sqrt{10}) = 84 \text{ км}.$$

Влияние отрицательной рефракции на прямую видимость показано на рис. 8,*в*. В этом случае расстояние прямой видимости будет меньше, чем при отсутствии рефракции.

Телевизионные антенны

Электрические свойства антенны, используемой для телевидения, характеризуются диаграммой направленности, коэффициентом усиления, полосой пропускания, входным сопротивлением и другими качественными показателями. В принципе любая передающая антенна может работать в качестве приемной, а приемная — в качестве передающей антенны. Поэтому не имеет зна-

чения, в каком режиме работы антенны определены эти показатели. Любой показатель, определенный при работе антенны на передачу, будет справедлив при работе на прием, и наоборот.

Диаграмма направленности — это график, характеризующий зону излучения или зону приема энергии для данной антенны. Обычно снимают два графика в полярных координатах: один — в горизонтальной, другой — в вертикальной плоскостях. Наибольший уровень сигнала принимают за единицу, что соответствует 100%, а для всех остальных направлений берут процентное отношение значений уровня. Реальная диаграмма направленности антенны типа полуволновый вибратор показана на рис. 10. Диаграмма получена измерением напряжения сигнала на выходе антенны в зависимости от ее угла поворота в горизонтальной плоскости. Данная антенна обладает наилучшей способностью принимать сигнал с двух сторон, когда направление прихода волн перпендикулярно вибратору. В каждом секторе (±45° от максимума) напряжение сигнала выше 0,7. На рис. 13 и 14 показаны диаграммы направленности однонаправленных антенн в горизонтальной плоскости по напряжению. Однонаправленные антенны имеют на диаграмме один большой лепесток, называемый главным, и маленькие задние и боковые лепестки. В главном лепестке напряжение сигнала на выходе антенны выше 0,7 — это ширина луча антенны, в пределах которого принимается полезный сигнал. Уровень боковых и задних лепестков конструкторы стремятся свести к минимуму, чтобы улучшить помехозащищенность антенн, так как эти лепестки «собирают» помехи и мешающие сигналы, приходящие со стороны, обратной приему, или сбоку.

Под коэффициентом усиления антенн понимают некоторое число G, показывающее, во сколько раз излучаемая мощность данной антенны больше мощности излучаемой полуволновым вибратором (или ненаправленной антенной) при одинаковой подводимой к ним мощности. Можно также сказать, что коэффициент усиления антенны — это число, которое показывает, во сколько раз полученная от нее мощность принимаемого сигнала больше, чем от полуволнового вибратора.

Коэффициент усиления антенн удобно выражать в децибелах: $G\,(дБ) = 10\lg G = 20\lg G'$, где G' — коэффициент усиления антенны по напряжению. По коэффициенту усиления, выраженному в децибелах, можно определить усиление антенны как по мощности, так и по напряжению. Например, если $G = 6$ дБ, то по мощности $G = 4$, а по напряжению $G' = 2$.

В данной книге коэффициент усиления антенн везде определяется по мощности; для антенн метрового и дециметрового диапазонов — относительно полуволнового вибратора; для антенн сантиметрового диапазона — относительно ненаправленной (изотропной) антенны. Коэффициент усиления антенны относительно ненаправленной антенны больше коэффициента усиления относительно полуволнового вибратора в 1,64 раза (на 2,15 дБ).

Для одной и той же длины волны коэффициент усиления антенны тем больше, чем больше ее геометрические размеры, при этом главный лепесток диаграммы направленности сужается.

Полоса пропускания частот телевизионной антенны является характеристикой, в значительной степени определяющей качество получаемого изображения. Приемная антенна должна пропускать без заметных искажений весь спектр частот ТВ сигнала (или сигналов для многоканальной антенны), излучаемого передатчиком. Полоса пропускания антенны зависит от коэффициента

усиления. При неизменной длине волны с увеличением коэффициента усиления полоса пропускания сужается.

Входным сопротивлением антенны называют сопротивление в точках, к которым подключена фидерная линия. В общем случае входное сопротивление антенны имеет активную и реактивную составляющие. Если антенна настроена в резонанс, то ее входное сопротивление является активным. Так, у полуволнового вибратора входное сопротивление равно 73 Ом. Входное сопротивление ТВ антенн обычно симметрично. При подключении к антенне несимметричного кабеля применяют симметрирующее устройство (петлю, мостик). Это же устройство обычно служит для согласования приемной антенны, необходимого для наилучшей передачи мощности сигнала от антенны к приемнику. Согласование будет достигнуто тогда, когда входное сопротивление антенны, входное сопротивление приемника и волновое сопротивление фидерной линии будут равны между собой.

Волновое сопротивление линии есть отношение напряжения к току в бегущей волне, распространяющейся вдоль линии. Для линии, представляющей собой коаксиальный кабель, оно зависит от геометрических размеров его проводников и свойств диэлектрика между ними и не зависит от длины кабеля. Современные кабели, используемые в телевизионной технике, чаще всего имеют волновое сопротивление 75 Ом.

Передающие телевизионные антенны во многих случаях выполняют так, чтобы диаграмма направленности в горизонтальной плоскости имела форму, близкую к окружности. Для этого излучающие элементы антенны, обычно полуволновые вибраторы с рефлектором (рис. 9,*а*), размещают на всех сторонах башни. Радиолучи от передающей антенны, попадая на земную поверхность, как бы «освещают» местность. Для того чтобы излучаемая энергия напрасно не рассеивалась, луч антенны сужают в вертикальной плоскости и под

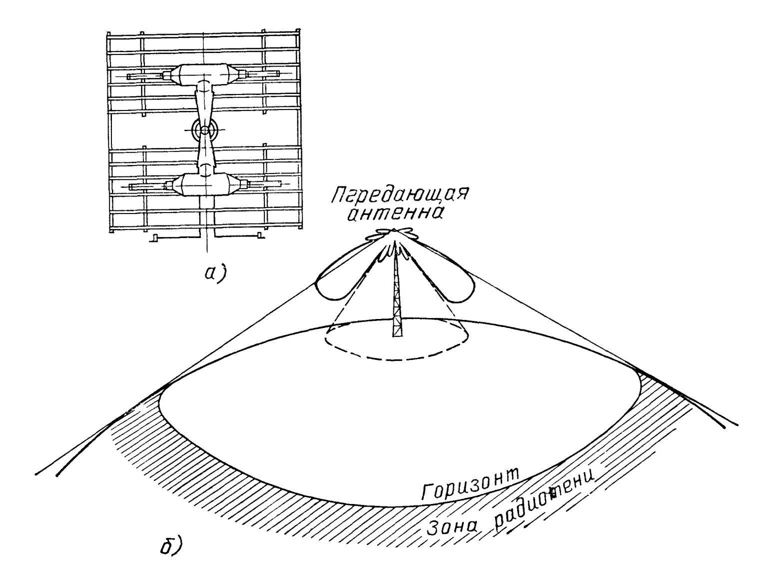


Рис. 9. «Освещение» местности передающей антенной

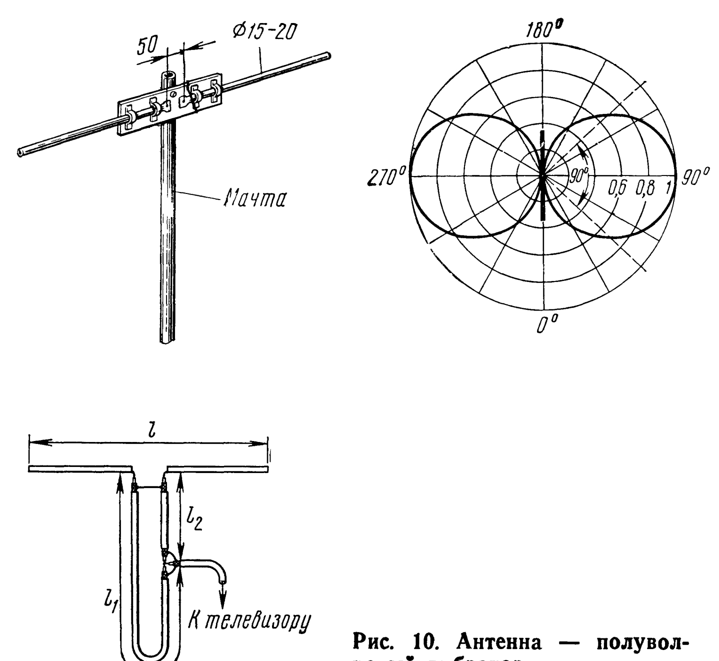


Рис. 10. Антенна — полуволновый вибратор

небольшим углом наклоняют к земной поверхности (рис. 9,*б*). Это напоминает известный способ улучшения звукового вещания, при котором поднятые громкоговорители наклоняют вниз. Сужение луча в вертикальной плоскости достигается особым расположением большого числа излучателей друг над другом. Благодаря сужению луча коэффициент усиления передающих антенн (по мощности, относительно полуволнового вибратора) достигает значений 6...14 в диапазоне метровых волн и 20...30 в диапазоне дециметровых волн.

На рис. 9,*а* видно, что в прилегающей к станции зоне излучение происходит боковыми лепестками диаграммы направленности передающей антенны. Радиус этой зоны зависит в основном от высоты подвеса передающей антенны и ширины ее главного лепестка. Обычно он не превышает 2...10 км.

Некоторые типы приемных индивидуальных ТВ антенн показаны на рис. 10—15. Простейшая и весьма распространенная антенна — полуволновой вибратор (рис. 10). Полуволновые вибраторы промышленность уже не выпускает, но их нетрудно сделать самим. Желательно для плечей вибратора взять алюминиевые трубки диаметром не менее 15...20 мм. Плечи, выполненные из тонкого провода, сужают полосы пропускания частот. Полуволновый вибратор используется в основном в диапазоне метровых волн. При диаметре плечей 15...20 мм длину всей антенны необходимо взять равной $l=0,485\lambda$, где λ — средняя длина волны ТВ канала. Размеры петли для симметрирования и согласования фидера даны в табл. 2. Петля выполняется из того же несимметричного кабеля, который используется для фидера (принцип работы антенн, согласующих и симметрирующих устройств изложен, например, в [5]).

Антенны промышленного производства имеют гарантированные электрические и конструктивные параметры. При правильном использовании они обес-

Таблица 2

Телевизионные каналы	1	2	3	4	5	6—7	8—9	10—12
l_1, мм	2850	2400	1860	1680	1545	840	750	690
l_2, мм	950	800	620	560	515	280	250	230

печивают удовлетворительный прием ТВ сигналов. Рассмотрим некоторые типы антенн, выпускаемые промышленностью [1]. На рис. 11 показана антенна ТАИ-12 (модификация ТАИ-12М). Она состоит из четырех трубчатых элементов, установленных на коротком вертикальном кронштейне, представляющем отрезок коротко замкнутой двухпроводной линии. При необходимости плечи вибратора могут быть повернуты на 90° для приема сигналов с вертикальной поляризацией. Антенна представляет собой широкополосный полуволновый вибратор с коэффициентом усиления $G \approx 1$, но, в отличие от простого полуволнового вибратора, она очень удобна, так как предназначена для приема каналов 1—12.

К антеннам такого типа относится также антенна «Луч», показанная на рис. 12*. Она состоит из двух плеч-трубок, расположенных в горизонтальной плоскости под углом 120° друг к другу. Плечи закрепляются на цилиндрической пластмассовой коробке, в которой размещается симметрирующе-согласующее устройство. К коробке подключается кабель снижения. С антенной «Луч» (вариант «Луч-1») можно принимать сигналы в каналах 1—12 при горизонтальной или вертикальной поляризации (в этом случае антенну поворачивают на 90°).

Недостатком описанных выше антенн является не только отсутствие усиления, но и незащищенность от помех мешающих сигналов, приходящих со стороны, противоположной направлению приема полезного сигнала.

Лучшие электрические параметры имеет довольно широко распространенная антенна ИТА-12 (торговое наименование «Волна»). Как видно из рис. 13,

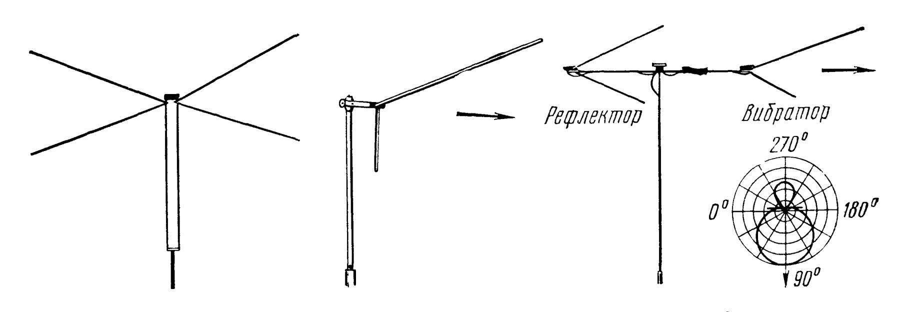


Рис. 11. Антенна типа ТАИ-12 (ТАИ-12М)

Рис. 12. Антенна типа «Луч-1»

Рис. 13. Антенна типа ИТА-12 («Волна-1»)

* На рис. 12 и последующих рисунках стрелка показывает направление на передающую станцию.

антенна «Волна» состоит из вибратора и рефлектора, которые расположены на концах несущей стрелы длиной около метра. Конструкции вибратора и рефлектора такие же, как и у антенны «Луч». Антенна «Волна» рассчитана на прием каналов 1—12, и в то же время, благодаря рефлектору, помехи и мешающие сигналы, приходящие со стороны, обратной приему, до некоторой степени подавляются. Коэффициент усиления антенны в пределах 0,7 ... 3. Наибольшее значение его получается в каналах 6—11.

К антеннам, имеющим хорошие коэффициент усиления и помехозащищенность, относятся антенны типа «Волновой канал». Антенны этого типа очень широко используются как для индивидуального, так и для коллективного приема в диапазонах метровых и дециметровых волн для обоих видов поляризации. В конструкцию антенны «Волновой канал» входит активный (обычно петлевой) вибратор, рефлектор и несколько директоров. Кабель снижения с помощью симметрирующе-согласующего трансформатора подключается к активному вибратору. От числа директоров зависит коэффициент усиления антенны.

Трехэлементная антенна (рис. 14), рассчитанная на прием одного из каналов 1—5, имеет коэффициент усиления 3 ... 4 (большее число директоров в этих каналах обычно не делается, поскольку антенна получается громоздкой). Пятиэлементные (с тремя директорами) и семиэлементные (с пятью директорами) одноканальные антенны, рассчитанные на каналы 6—12, имеют коэффициент усиления 4 ... 7. Антенны типа «Волновой канал» могут быть рассчитаны

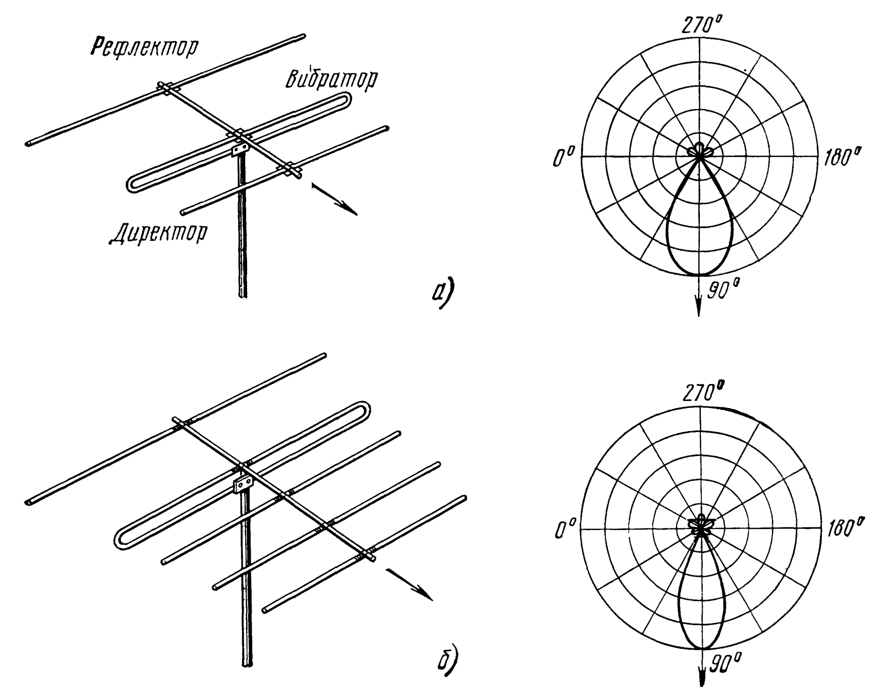


Рис. 14. Антенны типа «Волновой канал» для ТВ приема в метровом диапазоне волн:

а — трехэлементная; *б* — пятиэлементная

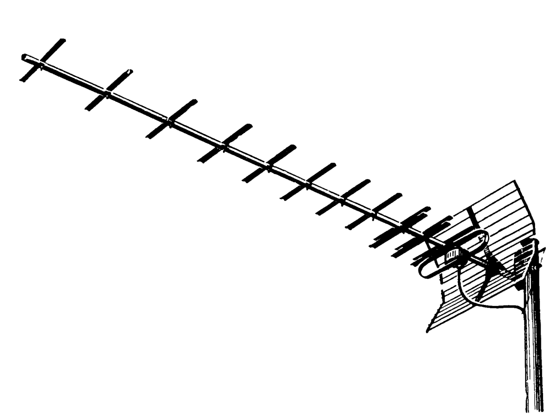


Рис. 15. Антенна типа «Волновой канал» для ТВ приема в дециметровом диапазоне волн

и на прием нескольких каналов. Естественно, что при этом коэффициент усиления таких многоканальных антенн будет меньше. В рассматриваемых антеннах мощность помехи и мешающих сигналов, приходящих с обратной стороны приема полезного сигнала, ослабляется в 10 ... ... 16 раз, по сравнению с полуволновым вибратором.

В дециметровом диапазоне волн наибольшее распространение получили диапазонные антенны «Волновой канал», состоящие из 15 элементов (рис. 15). Промышленность выпускает такую антенну с торговым наименованием «Гамма». Она выполняется в двух вариантах: для приема ТВ сигналов в диапазонах 21—41 и 41—60 (без перестройки). В зависимости от используемого канала коэффициент усиления антенны равен 8 ...16. Мощность помех и мешающих сигналов, поступающих со стороны обратной приему, ослабляется в среднем в 100 раз.

Из антенн типа «Волновой канал» можно создавать более сложные варианты антенн, которые позволяют увеличивать напряжение сигнала и сужать диаграмму направленности. Антенны разносятся на расстояние в полволны. При разнесении двух антенн, например в горизонтальной плоскости, почти вдвое сужается главный лепесток диаграммы направленности в этой плоскости, благодаря чему легче отстроиться от мешающих сигналов. Напряжение сигнала при этом увеличивается всего в 1,4 раза. Составление сложных вариантов антенн не всегда оправдано. Для этого требуется высокая квалификация радиолюбителей и соответствующая измерительная аппаратура.

В диапазоне сантиметровых волн в основном применяются антенны, у которых рефлектор выполнен в виде параболического металлического зеркала. Простейшей параболической антенной является антенна, показанная на рис. 16. В фокусе зеркала расположен облучатель на треноге (например, раскрытый конец волновода). При работе на передачу антенна напоминает прожектор. Расходящиеся от облучателя сферические волны зеркало переизлучает так, что они становятся параллельны, т. е. фазовый фронт волны становится плоским. При работе на прием имеет место обратная картина. Для того чтобы антенна была избирательной по направлению, размеры зеркала должны превышать длину волны.

Коэффициент усиления параболической антенны (по мощности относительно ненаправленной антенны) определяется по формуле

$$G=5(D/\lambda)^2,$$

где D — диаметр зеркала. Например, если $D=100$ см, $\lambda=2{,}5$ см, то коэффициент усиления $G=8000$ или $10\lg 8000=39$ дБ. Ширина главного лепестка

(луча) антенны (отсчитанная в градусах по точкам, где мощность уменьшается в 2 раза) рассчитывается по формуле

$$\gamma^\circ \approx 70\lambda/D.$$

Нетрудно подсчитать, что луч антенны на сантиметровых волнах может быть шириной несколько градусов или даже меньше градуса В частности, при $D=100$ см и $\lambda=2{,}5$ см получается $\gamma=1{,}75^\circ$. Некоторое уменьшение коэффициента усиления происходит из-за того, что облучатель затеняет часть зеркала. Чтобы исключить влияние облучателя, применяют антенны с вынесенным (из центра) облучателем. Несмотря на то, что зеркало здесь представляет собой часть параболоида вращения, конструкция которого сложнее, такие антенны выпускаются для прямого ТВ приема со спутника, так как имеют лучшие параметры (рис. 17).

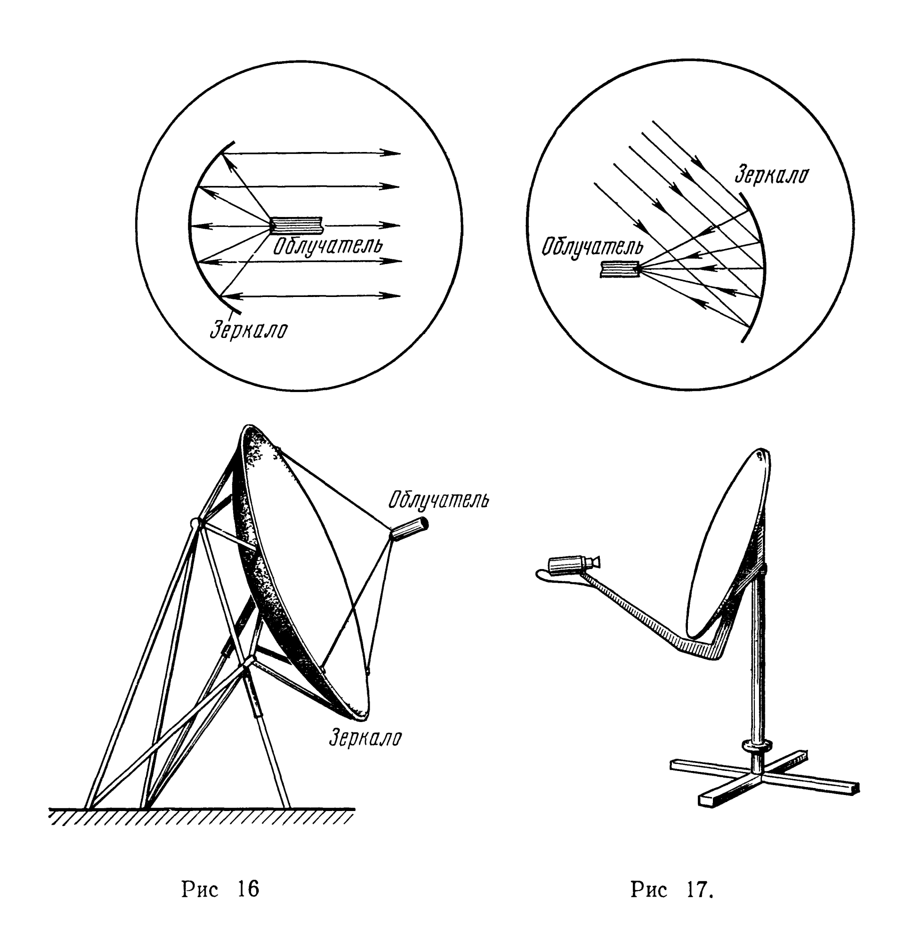


Рис. 16 Параболическая антенна (вверху показан ход лучей)

Рис. 17. Параболическая антенна с вынесенным облучателем для приема от спутника

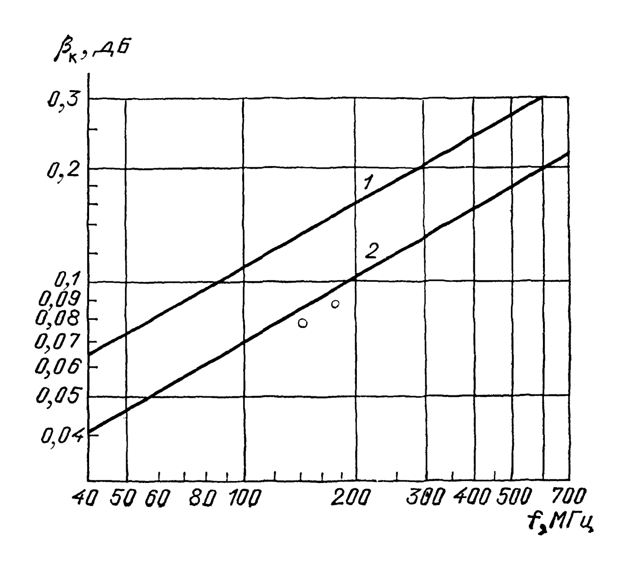


Рис. 18. Погонное затухание коаксиальных кабелей:
1 — для кабелей типа РК-75-4-15 и РК-75-4-11; 2 — для РК-75-9-12 и РК-75-9-13

Фидеры антенны. В качестве фидерных линий ТВ приемных антенн используют в большинстве случаев коаксиальные кабели с волновым сопротивлением 75 Ом, так как потери мощности в них сравнительно невелики. Кроме того, благодаря их экранирующим свойствам, в значительной степени повышается помехоустойчивость приема. Потери сигнала в фидере оцениваются коэффициентом полезного действия η. Он определяется как отношение мощности на выходе фидера к мощности на его входе. Фидеры антенн на передающих мощных станциях вследствие применения специального кабеля большого сечения имеют высокий кпд.

В ориентировочных расчетах для передающих антенн, работающих на метровых волнах, можно принять $\eta=1$, на дециметровых волнах — 0,5. Для коаксиальных кабелей, используемых в фидерах приемных антенн, в справочной литературе приводится погонное затухание $\beta_к$, дБ/м (рис. 18). Потери сигнала в кабеле длиной $l_к$ определяются произведением $\beta_к l_к$, дБ. По этой величине можно найти кпд фидера по мощности

$$\eta = 10^{-\frac{\beta_к l_к}{10}}. \qquad (5)$$

Пример. Длина фидера 15 м. Фидер представляет собой кабель типа РК-75-4-15. Необходимо определить кпд фидера в ТВ канале 5 (частота сигнала 96 МГц).

Из графика рис. 18 находим погонное затухание для этого типа кабеля $\beta_к=0,1$ дБ/м. Потери сигнала в фидере составят $0,1\cdot15=1,5$ дБ. Подставляя значения в формулу (5), получаем

$$\eta = 10^{-1,5/10} = 0,7.$$

Уровень сигнала и качество приема

Минимально необходимое напряжение сигнала на входе телевизора зависит от напряжения шумов приемника и наводимого напряжения промышленных помех. Удовлетворительное качество изображения получается только тогда, когда напряжение сигнала на управляющем электроде кинескопа превышает напряжение шумов и помех в несколько десятков раз (40 ... 45 дБ). Чем меньше напряжение шумов и помех, тем меньше требуется напряжение сигнала.

При отсутствии промышленных помех прием телевидения затрудняется из-за наличия внутренних и внешних шумов. Шум проявляется в том, что по всему экрану видны хаотические точки и черточки, напоминающие снег (рис. 19). Они особенно заметны, когда уровень сигнала слаб или когда в эфире нет передачи, а ручка регулировки контрастности выведена на максимум. Шум представляет собой случайные колебания напряжений и токов, вызываемые беспорядочным тепловым движением электронов в проводниках, неравномерностью вылета электронов из катодов ламп и т. п. Мощность шумов тем больше, чем больше сопротивление проводника и его температура. Хаотический шум не имеет какой-то одной определенной частоты, а охватывает очень широкий спектр частот. По этой причине мощность шумов на выходе приемника растет пропорционально его полосе пропускания. Шумовое напряжение на входе приемника составляет обычно всего несколько микровольт, однако в современных телевизионных приемниках, имеющих большое усиление, оно создает на выходе (на электроде кинескопа) значительное шумовое напряжение. Наибольшую долю в напряжение шумов вносят первые каскады приемника и антенна. При увеличении усиления приемника сигнал и шум на выходе возрастают почти одинаково и мешающее действие шумов не устраняется. Когда напряжение полезного сигнала значительно больше напряжения шумов, телезрители, не задумываясь, устанавливают усиление телевизора так, что шумы как-бы «заперты».



Рис. 19. Искажение телевизионного изображения при недостаточном уровне сигнала (изображение в шумах)



Рис. 20. Помеха от радиостанций в виде сетки

Шумы, создаваемые антенной. Каждая антенна обладает активным сопротивлением, состоящим из сопротивлений излучения и потерь. Например, у полуволнового вибратора активное сопротивление составляет примерно 75 Ом. Оказывается, что антенна создает шум более сильный, чем ее эквивалентное активное сопротивление. Дополнительный шум, принимаемый антенной, вызывается тепловым движением частиц атмосферы, земной поверхности, но главное — радиоизлучение из космоса. Основным источником космических шумов является район созвездий Скорпиона и Тельца. Мощным источником шумов является Солнце. Остронаправленная антенна метровых волн, ориентированная на Солнце, резко увеличивает уровень шума. Космические шумы ограничивают чувствительность приемника примерно до частоты 120 МГц, т. е. до 5-го ТВ канала. На более высоких частотах их интенсивность сводится к нулю. Однако чувствительность приемника, к сожалению, не улучшается, она снова ограничивается, но уже его собственными шумами, которые существенно возрастают с частотой.

К промышленным помехам относятся помехи от радиостанций и различных устройств, при работе которых возникает электрическая искра. Обычно мешают радиостанции, расположенные на расстоянии до одного — двух километров от точки приема. На экране телевизора помеха представляет собой сетку вертикальных или наклонных линий, перемещающихся вверх или вниз по экрану (рис. 20). Если помеха появляется и исчезает произвольно, то, вероятно, мешающий передатчик принадлежит радиолюбителю. Профессиональные передатчики работают строго по расписанию.

Помеха от устройств, в которых возникает электрическая искра, на черно-белом изображении возникает в виде белых точек или черточек (рис. 21), на цветном изображении — в виде черточек разного цвета. К устройствам, создающим помеху искрового характера, относятся электропоезда, трамваи, троллейбусы, линии электропередач, системы зажигания автомашин. Такого рода помехи наблюдаются в ТВ каналах 1—3 и на близком (не более 100 м) расстоянии от устройства, создающего помеху (чаще всего при какой-либо неисправности этого устройства). Помеха может возникать только в момент вклю-

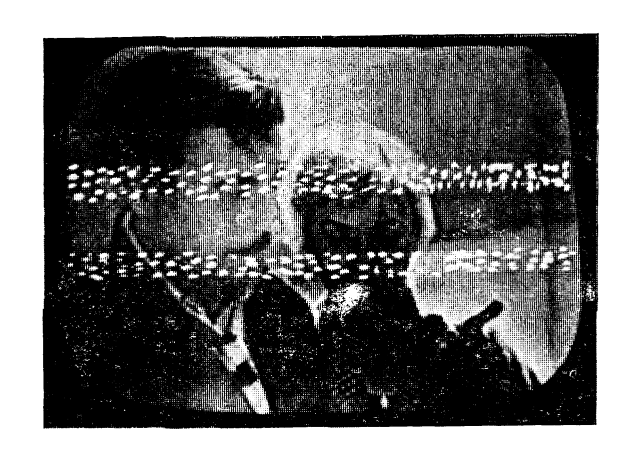


Рис. 21. Вид искровой помехи на ТВ экране

чения устройства. Помехи от транспорта обнаружить не трудно, так как после его прохождения помехи сразу исчезают. Трудно определить помеху от линий электропередач из-за сильного изменения ее интенсивности во времени. В некоторые периоды она совсем пропадает, в другие — «забивает» изображение. Даже специалисты не могут всегда отличить такую помеху от помехи, вызванной искрением в самом телевизоре. Помеха от линии электропередачи возникает одновременно во многих телевизорах. Неисправная линия электропередачи может создавать помеху на расстоянии нескольких километров. При слабом сигнале иногда видны помехи от грозовых разрядов.

Качество изображения. На экране телевизора качество изображения может быть оценено по пятибалльной шкале: 5 баллов — помеха незаметна, 4 — балла — помеха заметна, но не мешает, 3 балла — помеха немного мешает, 2 балла — помеха сильно мешает, 1 балл — изображение неприемлемо. В каналах метрового диапазона при отсутствии помех черно-белое изображение с оценкой 4—5 баллов получается при подаче на вход телевизора сигнала с напряжением 400 ... 600 мкВ (пиковое значение). При напряжении сигнала 200 ... ... 300 мкВ качество изображения может оставаться еще приемлемым (3—4 балла). В каналах дециметрового диапазона вследствие повышенных собственных шумов приемника требуется напряжение сигнала 800 ... 1000 мкВ и более. Чувствительность около 50 ... 100 мкВ характеризует только усилительную и шумовую способность телевизора. Численно она равна напряжению, которое нужно подать на вход телевизора, чтобы получить на выходе отношение напряжений сигнал-шум, равное 10. При таком отношении сигнал-шум качество изображения еще неудовлетворительно. Для получения удовлетворительного изображения напряжение сигнала должно быть в 5 раз больше указанного в паспорте телевизора. Так, например, чувствительность телевизора по паспорту не хуже 50 мкВ. Следовательно, для нормального приема к нему надо подвести, как минимум, напряжение сигнала 50·5=250 мкВ. Для цветных телевизионных приемников требуемое напряжение сигнала должно быть больше, чем для черно-белых, в 1,2—1,3 раза.

Радиолюбители, занимающиеся дальним приемом, сужают иногда полосу пропускания тракта изображения телевизора в 2 раза, т. е. до 2 ... 2,5 мГц. При этом повышается чувствительность приемника, но ухудшается качество изображения (пропадают мелкие детали). Уменьшение полосы пропускания в 2 раза приводит к уменьшению напряжения шумов в $\sqrt{2}$ раз. Соответственно на метровых волнах минимальное подводимое напряжение к телевизору составит уже 140 ... 210 мкВ.

Напряжение сигнала на входе телевизора и зависит от коэффициента усиления приемной антенны и от напряженности поля в месте приема. Поэтому чувствительность всего приемного устройства лучше оценивать по минимально необходимой напряженности поля $E_{мин}$.

Минимально необходимая напряженность поля сигнала для нормального приема телепередач. Ее можно рассчитать по формуле

$$E_{мин} = \frac{u}{0{,}16\lambda\sqrt{G\eta}}$$

Пример. Реальная чувствительность телевизора в канале 1 ($\lambda = 5{,}7$ м) равна 250 мкВ, коэффициент усиления приемной антенны $G = 3$; кпд фидера $\eta = 0{,}8$. Необходимая минимальная напряженность поля

$$E_{мин} = \frac{250}{0{,}16 \cdot 5{,}7\sqrt{3 \cdot 0{,}8}} = 175 \text{ мкВ/м}.$$

Минимальный уровень напряженности поля полезного сигнала, а также помех и шумов в зависимости от частоты показан на рис. 22 (напряжение собственных шумов приемника пересчитано в эквивалентную им напряженность поля).

Радиолюбители, в некоторых случаях, например при дальнем приеме, ведут прием телевидения при напряженности поля около 80 ... 100 мкВ/м. Для индивидуального ТВ приема необходима напряженность поля не менее 300 ... 700 мкВ/м в каналах 1—12 и 3200 мкВ/м в дециметровых каналах. В больших индустриальных городах из-за высокого уровня помех минимально допустимая напряженность поля в ТВ каналах 1—3 около 5000 мкВ/м.

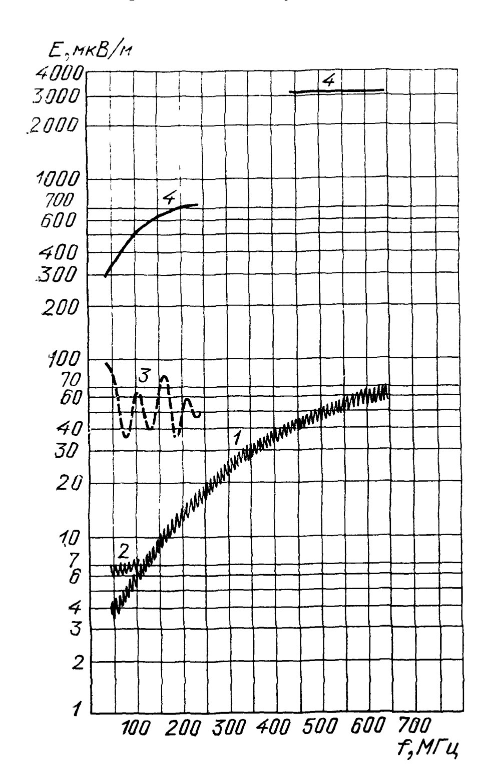


Рис. 22. Ориентировочное значение напряженности поля шумов, помех и минимально допустимого уровня сигнала (в полосе 6 МГц):

1 — внутренние шумы приемника; 2 — космические шумы; 3 — промышленные помехи; 4 — уровень сигнала

Приведенная ранее формула позволяет по известной напряженности поля E рассчитать напряжение сигнала, которое будет на входе телевизора $u = 0{,}16\lambda\sqrt{G\eta}$.

Пример. Пусть E=4000 мкВ/м, G=10, $\lambda \approx 0{,}6$ м (канал 24), $\eta = 0{,}5$. Тогда

$$E = 0{,}16 \cdot 0{,}6\sqrt{10 \cdot 0{,}5} \cdot 4000 \approx 860 \text{ мкВ},$$

Расчеты предполагают, что волновое сопротивление фидера равно 75 Ом; фидер согласован с антенной и входом телевизора. Напряжение сигнала, снимаемое с антенны, пропорционально произведению $\lambda\sqrt{G}$. Чтобы уровень сигнала не снижался при переходе к более коротким волнам, необходимо на этих волнах использовать антенны с высоким коэффициентом усиления.

Эхосигналы

Особенностью ТВ приема являются искажения телевизионного изображения в виде многократного повторения вертикальных границ контура изображения. Эти паразитные или, как еще говорят, ложные изображения наблюдаются при исправном телевизоре и особенно заметны при передаче титров. Причины появления ложных изображений различны.

Чаще всего они возникают из-за того, что к приемной антенне помимо полезного сигнала приходят эхосигналы, образованные вследствие отражения радиоволны от каких либо местных предметов, расположенных вокруг приемной антенны: стены здания, горной вершины, линии электропередачи и т. п.

На рис. 23 показан пример появления одного эхосигнала. Эхосигнал проходит бо́льший путь и распространяется по времени дольше, чем полезный. Поскольку развертка электрического луча в кинескопе по строкам осуществляется слева направо, то эхосигнал создает второе, ложное изображение, сдвинутое относительно полезного вправо (рис. 24). Ложных изображений будет столько, сколько имеется эхосигналов. Видимость их увеличивается по мере увеличения интенсивности отражения и запаздывания. Ложные изображения могут быть как темными, так и светлыми. Это определяется фазовыми соотношениями полезного и отраженного сигналов.

Интенсивные эхосигналы гасящего строчного импульса при больших запаздываниях создают в левой части экрана одну или несколько вертикальных полос различных оттенков. Ширина полосы определяется шириной импульса

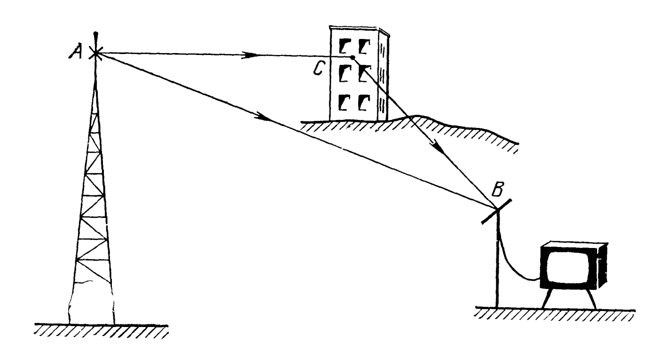
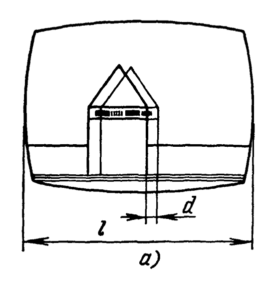
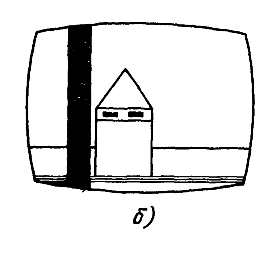


Рис. 23. Схема прихода отраженной волны, вызывающей ложное изображение





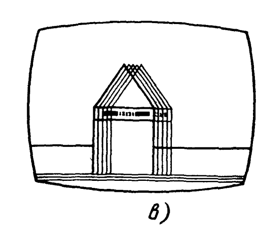


Рис. 24. Искажения изображения:

а — при одном эхосигнале; *б* — при большом запаздывании одного интенсивного эхосигнала; *в* — при фидерном эхо

и составляет примерно 20% от длины строки (рис. 24,*б*). При отсутствии прямой видимости антенна (например, комнатная) принимает только эхосигналы. На экране видно много изображений, выделить из которых полезное изображение часто невозможно.

Если справа от основного изображения наблюдается одно ложное изображение и известно расстояние между контурами d (рис. 24,*а*), то можно примерно определить местоположение предмета, от которого приходит эхосигнал. Для этого сначала определяют время t, мкс, в течение которого электронный луч на экране смещается от точки полезного изображения к точке повторного

$$t \approx d \cdot 52/l,$$

где l — ширина экрана; 52 мкс — время воспроизведения строки. Затем вычисляют разность хода сигналов (скорость радиоволн 300 м в 1 мкс), м,

$$\Delta r = ACB - AB = 300t.$$

После этого на плане местности в точках передачи и приема А, В кнопками закрепляют нить, длина которой равна $AB+\Delta r$. Натягивая нить острием карандаша, вычерчивают на плане эллипс. Источник отражения расположен у контура эллипса. Часто это какое-либо строение явно выделяющееся по высоте.

Например, $l=489$ мм (трубка с диагональю 59 см, $d=10$ мм. Получаем: $t=10 \cdot 52/489=1{,}06$ мкс; $\Delta r=300 \cdot 1{,}6=318$ м. Очевидно, такой способ определения отражателя неоднозначен и на практике не всегда применим, поскольку разность хода намного меньше длины трассы ($\Delta r \ll AB$). Необходимо знать, что ложный сигнал может появиться от местного предмета, расположенного сзади антенны на расстоянии $\Delta r/2$.

С различной интенсивностью эхосигналы наблюдаются всегда. Даже при распространении радиоволн над чистым полем имеется отражение от земной поверхности. Отраженная от земной поверхности волна в подавляющем большинстве случаев из-за малого запаздывания не создает заметного ложного изображения.

Ложное изображение может быть и слева от полезного изображения. Чаще всего оно возникает от сигнала, который проникает через окно прямо на вход телевизора; по времени он приходит раньше сигнала, поступающего от приемной антенны. Сдвиг такого ложного изображения относительно полезного будет тем больше, чем больше длина кабеля антенны. Левое ложное изображение обычно наблюдается вблизи мощной радиопередающей станции, когда из окна квартиры видны ее антенны. Существуют и другие причины левых ложных изображений. Например, при приеме в тени препятствия в точку приема

приходят только эхосигналы. Интенсивный эхосигнал, приходящий с большим запаздыванием, может восприниматься за основное изображение, а другие за ложные и будут находиться от него слева.

Иная причина появления ложных изображений — несогласованность фидеров. Например, в фидере передающей антенны энергия, распространяющаяся от передатчика, полностью поглощается антенной только в том случае, когда ее входное сопротивление равно волновому сопротивлению фидера. При рассогласовании часть энергии, дошедшей до антенны, отражается обратно к передатчику. Если фидер недостаточно согласован и с передатчиком, происходит повторное отражение. В результате такого «фидерного эха» антенна излучает повторный сигнал, запаздывающий на время

$$t=2L/v,$$

где L — длина фидера, м; v — скорость волны в фидере, м/мкс. Скорость $v=300/\sqrt{\varepsilon}$, где ε диэлектрическая проницаемость материала, заполняющего фидер (кабель). Можно считать, что для фидеров передающих антенн $\varepsilon=1$, для приемных $\varepsilon=2—3$.

Как узнать ложные изображения, возникающие из-за несогласованности фидера? Фидерное эхо бывает многократным, поэтому повторные изображения, возникающие по этой причине, отличаются тем, что они отстоят друг от друга на равном расстоянии (см. рис. 24,*в*). Чем дальше повторное изображение находится от основного, тем слабее его контрастность; оно может быть светлым и темным. Время запаздывания ложного изображения, определенное на экране телевизора так, как указано было выше, должно совпадать с рассчитанным значением. Повторные изображения, вызванные несогласованностью фидера передающей антенны, проявляются сразу во многих местах приема. Идеальная настройка фидеров передающих антенн во всей полосе ТВ сигнала невозможна. Вблизи передающих станций иногда можно обнаружить заметные ложные изображения, отстоящие друг от друга на равном расстоянии.

Пример. На экране шириной $l=489$ мм видны ложные изображения, отстоящие друг от друга на расстоянии $d=20$ мм. Надо определить, являются ли они причиной рассогласования фидера передающей антенны, если длина фидера (высота башни) 350 м.

Время запаздывания, определенное на экране телевизора, равно $t=20\cdot52/489=2{,}12$ мкс. Полагая $\varepsilon=1$, расчетное время запаздывания в кабеле $t=2\cdot350/300=2{,}3$ мкс. Так как полученные цифры примерно одинаковы, появление ложных изображений связано с рассогласованием фидера.

В несогласованном фидере приемной антенны также возникает отражение волны. Энергия, распространяющаяся в кабеле от антенны к приемнику, частично отражается обратно по направлению к антенне, от антенны опять к приемнику и т. д. При индивидуальном приеме вследствие небольшой длины фидеров ложные изображения обычно видны в виде окантовки контура изображения. Окантовка исчезает, если фидер согласован хотя бы с одной стороны (либо с телевизором, либо с антенной). Ложные изображения становятся четко различимы при запаздывании сигнала больше 0,2 мкс (т. е. при разности хода волн $\Delta r>60$ м).

Искажения частотной характеристики тракта распространения радиоволн. Эхосигналы, так же как и фидерное эхо, не только вызывают ложные изображения, но и могут явиться причиной искажения амплитудно-частотной ха-

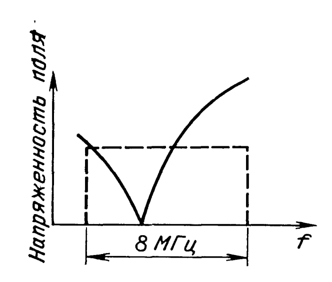


Рис. 25. Искажение амплитудно-частотной характеристики в тракте распространения радиоволн (штриховой линией показана характеристика без искажений)

рактеристики тракта распространения радиоволн. Если к приемной антенне приходит только прямой сигнал, то частотную характеристику тракта распространения можно представить в виде прямоугольника. Это означает, что амплитуды всех частот при распространении ослаблены в одинаковой степени. При наличии интенсивных эхосигналов между ними и прямым сигналом возникает интерференция. В спектре частот ТВ сигнала на одних частотах может происходить увеличение амплитуды сигнала, на других — уменьшение, т. е. искажение частотной характеристики (рис. 25). На телевизионном экране при этом пропадает четкость, наблюдается плохая передача деталей изображения, за вертикальными темными линиями видны темные и белые «хвосты» («тянучки»). Иногда цветное изображение становится черно-белым. При неисправности приемной антенны или фидера справа появляется узкая белая канва («пластика»).

Способы уменьшения уровня эхосигналов. Увеличением отношения напряжения полезного сигнала к напряжению эхосигналов на входе телевизора можно добиться уменьшения уровня эхосигнала. По крайней мере, необходимо превышение уровня полезного сигнала над уровнем эхосигналов в 5—10 раз (14 ... 20 дБ). Для этого стремятся установить прямую видимость, применяют однонаправленные приемные антенны с возможно узким главным лепестком в горизонтальной плоскости, выбирают оптимальное положение антенны. Эти основные способы особенно важны в диапазоне дециметровых волн. (см. раздел — «Выбор и установка приемной антенны»).

Во многих случаях видимость левых ложных изображений можно уменьшить, если сделать более тщательную экранировку входных элементов телевизора, в частности антенного гнезда, подобрать в помещении другое место для телевизора. Эффективный способ подавления левых ложных изображений — перенос частоты принятого канала на частоту другого канала. При этом преобразователь частоты каналов подключается непосредственно на выходе приемной антенны.

СЕТИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

Передающие станции

Передающая ТВ станция обычно используется для передачи в эфир нескольких ТВ программ. Для каждой программы требуется свой передатчик с антенной. Иногда на одну антенну работает несколько передатчиков. С целью

охвата телевидением возможно большей территории радиопередающие телевизионные станции устанавливают на господствующей возвышенности местности. Антенны станции поднимают на мачту или башню. На равнинно-холмистой местности при высоте подвеса антенн 200 ... 350 м расстояние прямой видимости доходит до 60 ... 80 км. Таким же примерно получается радиус зоны уверенного приема. Мощность передатчика и коэффициент усиления его антенны стремятся выбрать так, чтобы на границе прямой видимости напряженность поля была достаточна для удовлетворительного приема. На дециметровых волнах это условие трудно выполнимо и радиус зоны получается меньше, чем на метровых волнах (40 ... 60 км). Станции большой мощности имеют передатчики мощностью 5 ... 50 кВт. Для практики представляет интерес значение радиуса небольшой зоны около опоры антенны мощной станции, где прием осуществляется от боковых лепестков (см. рис. 9). В этой зоне возможно, что качество приема по ряду причин может быть неудовлетворительным (недостаточная напряженность поля полезного сигнала, ложные изображения, возникающие в антенно-фидерном тракте передающей антенны и т. д.). Радиус зоны приема от боковых лепестков $R_л$ может быть точно определен по известной диграмме направленности и высоте подвеса передающей антенны. Ориентировочный расчет радиуса зоны приема для типовых антенн в метровом и дециметровом диапазонах соответственно можно сделать по формулам:

$$R_л \approx 0{,}007(h_1 - h_2),$$
$$R_л \approx 0{,}02(h_1 - h_2). \qquad (6)$$

В эти формулы высоты антенн подставляются в метрах, значение радиуса получается в километрах. При расчете напряженности поля следует учитывать, что в зоне боковых лепестков излучаемая мощность радиопередающих ТВ станций уменьшается приблизительно в 50 раз (—17 дБ).

В маломощных ТВ станциях (ретрансляторах) используются обычно антенны с широкой диаграммой направленности в вертикальной плоскости. Поэтому радиус зоны приема от боковых лепестков у них настолько мал, что его можно не учитывать.

Пример. Радиопередающая ТВ станция работает в дециметровом диапазоне. Высота передающей антенны $h_1 = 300$ м, высота приемной антенны $h_2 = 10$ м. Требуется определить радиус зоны, где излучение происходит боковыми лепестками. Подставляя значения в формулу (6), получаем

$$R_л = 0{,}02 \cdot (300 - 10) = 5{,}8 \text{ км}.$$

Излучаемая мощность ТВ станции. В телевизионных передатчиках используется амплитудная модуляция. Во время передачи светлых деталей изображения передатчик «закрывается», при передаче темных деталей мощность на выходе передатчика возрастает. Мощность передатчика определяют по максимальной мощности при передаче вершин синхронизирующих импульсов, так как она не зависит от характера передаваемого изображения. Если к передатчику подключена ненаправленная антенна и потерь в фидере нет, то антенна излучает мощность, равную мощности передатчика. При подключении направленной антенны излучаемая мощность концентрируется в ограниченном секторе пространства. С помощью приемника, установленного в этом секторе, можно убедиться, что подключение направленной антенны равносильно увели-

чению мощности передатчика Поэтому станцию оценивают по излучаемой мощности. Излучаемая мощность ТВ станции вычисляется по формуле

$$P = P'G\eta,$$

где P' — пиковая мощность передатчика; G — коэффициент усиления передающей антенны по мощности по сравнению с полуволновым вибратором; η — коэффициент полезного действия антенного фидера. Например: $P = 5$ кВт, $G = 8$, $\eta = 0{,}7$, тогда $P = 28$ кВт.

Таблица 3

Город	Высота опоры, м (округленно)	Канал	Излучаемая мощность, кВт (округленно)
Москва	400	1 и 3	270
	450	8 и 11	360
	520	33	300
Минск	300	1	200
		3	50
		6	250
Орел	200	6	50
		11	50
Брянск	200	2	10
		22	300

В табл. 3 приведены излучаемые мощности некоторых телевизионных станций.

Указанные в таблице станции работают с горизонтальной поляризацией волн (вибраторы антенн расположены горизонтально к земной поверхности), но есть станции, у которых поляризация радиоволн вертикальная (Тула, Иваново и др.).

Об излучаемой мощности можно судить по высоте подвеса антенны. Мощные станции в основном имеют башню высотой не менее 150 м.

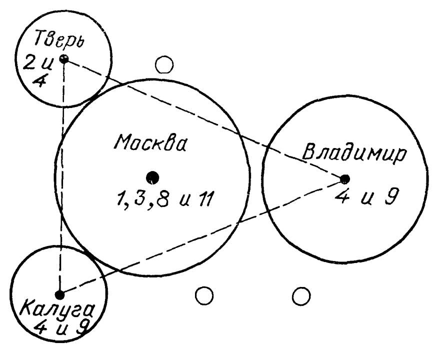


Рис. 26. Номера ТВ каналов и зоны уверенного приема некоторых ТВ станций вокруг Москвы

Для обеспечения ТВ вещанием всей страны необходима сеть передающих станций. Мощные станции располагают в столицах республик, областных центрах и крупных городах. В стране насчитывается 500 мощных ТВ станций. Число частотных каналов передающей станции соответствует числу передаваемых программ. Номера каналов выбирают не случайно. Необходимо обеспечить их электромагнитную совместимость, т. е. каналы выбирают так, чтобы они не мешали друг другу.

Рассмотрим некоторые мощные ТВ станции вокруг Москвы, работающие в диапазоне метровых волн (рис. 26). Кружками показаны приблизительные границы зон уверенного приема станций. Цифры в кружках — номера частотных каналов. Как видим, в Москве используются каналы 1, 3, 8 и 11. Такое сочетание номеров сделано из-за недостаточной избирательности по соседнему каналу телевизоров. Если применить в одном пункте соседние ТВ каналы, например 1-й и 2-й, то при приеме программы по каналу 1 на экране телевизора будет просматриваться мешающее изображение программы, идущей по каналу 2, и наоборот. Кроме того, приему местной станции могут мешать сигналы от станций, работающих в том же частотном канале, даже если они расположены от точки приема за сотни километров. По сравнению с полезным сигналом мешающий сигнал менее контрастный, изображение перемещается по экрану, иногда мешающий сигнал виден как чередующиеся темные и светлые полосы (рис. 27), нарушает синхронизацию изображения. Разумеется, местная станция также мешает и другим станциям. Надо отметить, что взаимно мешающие сигналы станций сокращают их зону обслуживания, так как удовлетворительный прием возможен уже при некотором приближении к каждой станции. По мере приближения к станции возрастает отношение уровня полезного сигнала к мешающему.

Мешающие сигналы между станциями возникают из-за того, что напряженность поля УКВ за пределами прямой видимости не сразу становится ничтожно малой. Из-за переизлучения радиоволн вследствие неоднородности воздуха происходит их дальнее тропосферное распространение. Для подавления мешающих сигналов соседним станциям присваиваются разные каналы, а одинаковые каналы используют только те станции, которые находятся друг от друга на расстоянии не ближе нескольких сотен километров (в зависимости от излучаемой мощности, рельефа местности и др.). Дополнительное ослабление мешающих сигналов можно получить небольшим смещением несущих частот станций и использованием различной поляризации волн. В частности, из рис. 26 видно, что вокруг Москвы нет станций, которые работали бы на московских



Рис. 27. Искажение изображения в виде темных и светлых полос, вызванное одновременным воздействием двух передающих ТВ станций

каналах. Станции, работающие в одном канале, расположены в вершинах треугольника на расстоянии около 300 км друг от друга (Калуга, Тверь, Владимир). Такой принцип размещения станций используется на всей территории, поэтому для каждого ТВ канала можно построить лишь небольшое число станций. Введение новой станции в той или иной степени нарушает электромагнитную совместимость существующей сети станций. К настоящему времени все 12 ТВ каналов метрового диапазона волн задействованы почти повсеместно. Развитие сети мощных радиопередающих ТВ станций осуществляется в основном в диапазоне дециметровых волн

Между понятиями «зона уверенного приема» и «зона обслуживания» радиопередающей станции существует разница Под *зоной уверенного приема* понимают территорию вокруг станции, где напряженность поля сигнала достаточна для удовлетворительного ТВ приема, при отсутствии мешающих сигналов со стороны соседних станций (необходимые значения напряженности поля указаны на рис. 22).

Под *зоной обслуживания* понимают территорию вокруг радиопередающей станции, где напряженность поля сигнала достаточна для удовлетворительного ТВ приема при воздействии мешающих сигналов. Мешающие сигналы воздействуют в короткие периоды, поэтому экспериментальная оценка границы зоны обслуживания затруднена. На практике обычно определяют зону уверенного приема. Очевидно, зона обслуживания равна или меньше зоны устойчивого приема.

Телевизионные ретрансляторы

Между зонами уверенного приема (а иногда и внутри зон) напряженность поля недостаточна для нормального приема, поэтому здесь устанавливают маломощные станции-ретрансляторы (см. рис. 26, где зоны уверенного приема мощных ТВ станций и ретрансляторов показаны соответственно большими и маленькими кружками). В большинстве случаев ретрансляторы имеют передатчики мощностью 1 ... 100 Вт и слабонаправленные антенны. Антенны устанавливают на опорах высотой 10 ... 50 м. Существующие в настоящее время несколько тысяч ретрансляторов образуют вспомогательную сеть ТВ вещания. Эта сеть позволяет более экономно охватить всю территорию ТВ вещанием, особенно на Крайнем Севере, в Сибири, и в горной местности, где плотность населения невелика, а небольшие населенные пункты разбросаны, поэтому применение здесь мощных станций нерентабельно.

Ретранслятор — это устройство, предназначенное для приема и последующей передачи сигнала. Ретранслятор принимает сигнал на одной частоте, а излучает на другой, усиливает и изменяет его направление. Подача радиосигнала ТВ вещания на ТВ ретрансляторы в большинстве случаев осуществляется так же, как на мощные станции: по РРЛ, высокочастотным кабелям, через систему спутниковой связи. В некоторых случаях радиосигнал подается на ТВ ретранслятор по эфиру (рис. 28). Такой способ не требует больших затрат, может быть быстро реализован, но устойчивость и качество ТВ приема невысокие. Прием по эфиру подвержен влиянию соседних станций. В частности, для ретрансляции нельзя использовать каналы 1—3. В этих каналах, вследствие отражения волн в ионосфере, могут быть сильные помехи от передающих станций, удаленных на 1000 ... 2000 км (см. гл. «Ионосферное распространение ТВ сигналов»). При расстоянии от головной станции, превышающем 50 ... 70 км,

начинают сказываться медленные, но глубокие замирания сигнала из-за рефракции радиоволн. Для удовлетворительного приема приемную антенну ретранслятора поднимают до получения прямой видимости. Принимаемый сигнал будет стабилен во времени, если расстояние от базовой станции до ретранслятора не превышает 20...30 км, но часто, например в горах, ретрансляторы работают и на гораздо бóльших расстояниях.

При приеме сигнала по эфиру необходима развязка между входом и выходом ретранслятора. Для этой цели канал передачи выбирают таким образом, чтобы он не был смежным по частоте с каналом приема. Сигнал, принятый, например, в канале 3, излучается уже в канале 5. Для дополнительной развязки в каналах передач и приема используют различные поляризации радиоволн. По рис. 29 можно судить о среднем радиусе зоны устойчивого приема ретранслятора в зависимости от высоты подвеса передающей антенны h_1. Кривая 1 соответствует ретранслятору с излучаемой мощностью 1 Вт; кривая 2 — 10 Вт в метровом диапазоне волн; кривая 3 — 10 Вт в дециметровом диапазоне. График приведен для равнинно-холмистой местности, когда помехи от других станций и потери в фидере передающей антенны незначительны, при высоте приемных антенн 10 м. Небольшой радиус зоны в дециметровом диапазоне волн объясняется меньшей (по сравнению с метровым диапазоном) чувствительностью приемного устройства.

Так же как и для мощных станций, в границах определенной территории можно использовать лишь ограниченное число ретрансляторов. Каждый вновь устанавливаемый ретранслятор — источник мешающего сигнала в зонах приема действующих мощных станций и ретрансляторов. В свою очередь, последние мешают работе нового ретранслятора. Выбор канала для нового ретранслятора сопряжен с большими трудностями, а иногда просто невозможен. Такая ситуация, как правило, возникает для метрового диапазона волн, поэтому на установку ретранслятора требуется разрешение органов министерства связи. На установку пассивных ретрансляторов такого разрешения не требуется, так как у них отсутствует передатчик. Прежде чем перейти к пассивным ретрансляторам, рассмотрим ТВ ретранслятор, называемый «бустером».

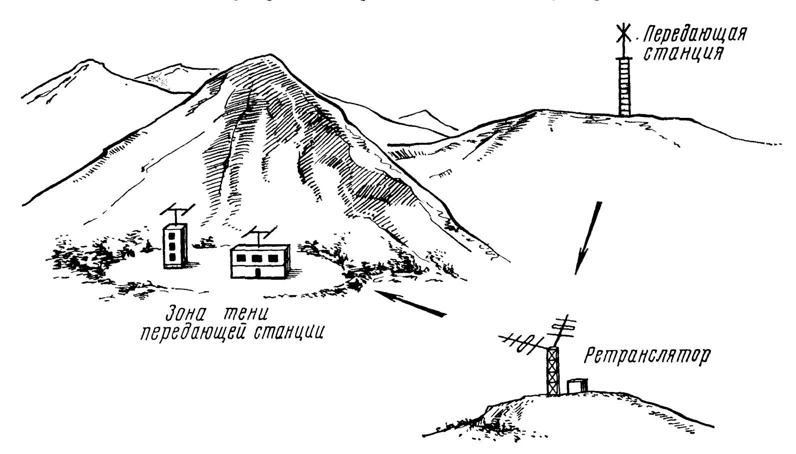


Рис. 28. Принцип работы ТВ ретранслятора при приеме сигнала от мощной станции по эфиру

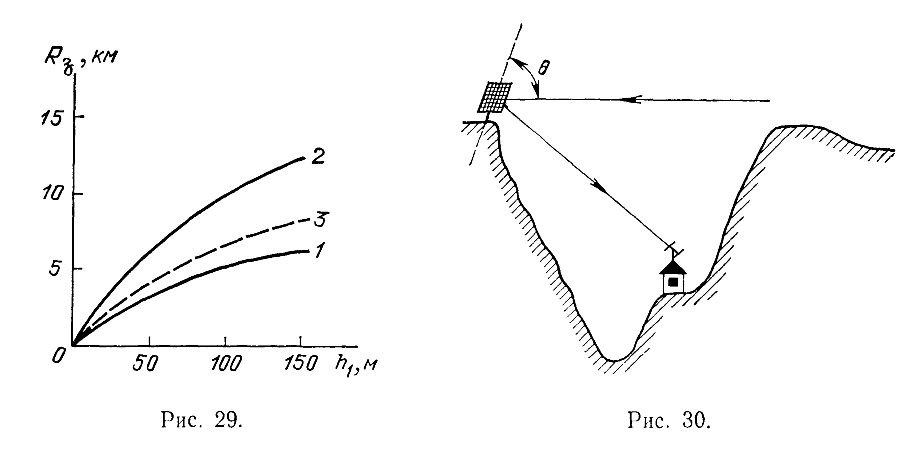


Рис. 29.   Рис. 30.

Рис. 29. График для определения радиуса зоны уверенного приема ТВ ретранслятора в зависимости от высоты передающей антенны и диапазона волн

Рис. 30. Принцип работы пассивного ретранслятора в виде зеркала из металлической сетки

В переводе с английского слово «бустер» означает «повышатель» (напряжения). Бустеры промышленность не выпускает, и в передающей сети они практически не используются, но радиолюбители проявляют к ним интерес, так как для этих устройств не требуется выделения частотного канала. Конструкция бустера содержит всего один усилитель и две антенны — приемную и передающую. Из-за опасности самовозбуждения усилителя передающая антенна устанавливается так, чтобы волны излучались с поляризацией, отличной от поляризации принимаемой волны. По той же причине коэффициент усиления бустера не превышает обычно 1000 (60 дБ), а мощность на выходе не превосходит 0,01 ... 0,02 Вт. Радиус действия бустера — несколько сотен метров. Такой ретранслятор может быть полезен для маленьких горных селений, расположенных в узких ущельях, где сигнал от мощной станции практически не виден.

Простейший пассивный ТВ ретранслятор в виде металлического зеркала показан на рис. 30. Для уменьшения массы зеркало изготавливают из проволочной сетки с размером ячейки $\lambda/10$. Предусматривается устройство для его поворота при настройке. Пассивные ретрансляторы позволяют транслировать сразу несколько каналов. Они просты, дешевы, не требуют источников питания. Однако они вносят заметное ослабление напряженности поля, поэтому их можно применять только при наличии достаточно сильного сигнала от головной станции. Ширина области приема оказывается небольшой, но в точке приема можно применить систему коллективного приема телевидения или микроретранслятор. При отражении сигнала, например в ущелье, напряженность поля в точке приема будет меньше, чем напряженность поля около зеркала, в $r\lambda/S \sin\theta$ раз, где S — площадь зеркала, м²; r — расстояние от точки приема до ретранслятора, м; θ — угол между направлением прихода волны и поверхностью зеркала, град.

Пример. Пусть $r=250$ м, $\lambda=1{,}3$ м, $S=25$ м², $\theta=60°$. Определим, во сколько раз уменьшается напряженность поля в ретрансляторе с такими параметрами Подставив эти данные, находим, что поле уменьшается в

$$\frac{250\cdot 1{,}3}{25\cdot \sin 60°} = 15 \text{ раз } (23{,}5 \text{ дБ}).$$

Перед установкой зеркала нужно убедиться, что на этом месте телевизор с таким ослаблением сигнала работает нормально. Следует иметь в виду, что увеличение размера зеркала и применение более короткой волны влечет за собой повышение требования к точности его изготовления и сужению диаграммы направленности. То есть сужается ширина области b, в которой возможен прием, причем

$$b \approx (1{,}2\lambda r)/S$$

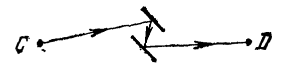
Например, при $\lambda=1{,}3$ м, $r=250$ м, $S=25$ м² получится $b=(1{,}2\cdot 1{,}3\cdot 250)/25=$ $=15{,}6$ м. Столь малая область позволяет «осветить» один дом, но на нем можно поставить антенну коллективного приема Другой тип пассивного ретранслятора описан в разделе «Дальнее распространение в горах», поскольку принцип его работы требует специального разъяснения

Подача телевизионных программ

Источники ТВ программ — телецентры Здесь создаются собственные программы и принимаются программы из других городов При необходимости местная программа подается в другие города В республиканские и областные телецентры поступают центральные программы из Москвы В каждом городе телецентры обычно находятся рядом с радиопередающей станцией. Обмен ТВ программами между городами и странами осуществляется с помощью наземных и спутниковых линий связи Используются два типа наземных линий — радиорелейные и кабельные Радиорелейные линии (РРЛ) находят большее применение.

Радиорелейные линии позволяют подавать ТВ программы на расстояние в несколько тысяч километров Они доходят до каждого республиканского, краевого и областного телецентров Термин «радиорелейная» происходит от английского слова reley, что значит смена (смена лошадей, смена в гонках с эстафетой и т п) Этот термин отражает замену слабого сигнала, принятого станцией, новым сильным сигналом, посылаемым на следующую станцию. Радиорелейная линия представляет собой цепь наземных приемопередающих станций, размещенных на расстоянии 40 .. 70 км друг от друга (рис. 31 и 32). Мощность передатчиков может быть от долей ватта до нескольких ватт; высота подвеса антенн 50 .. 80 м Антенны соседних станций находятся в пределах прямой видимости, что обеспечивает надежную связь на сантиметровых волнах. Диапазон сантиметровых волн содержит очень широкую полосу частот, что позволяет организовать передачу нескольких ТВ программ и программ звукового радиовещания в обе стороны.

В горной местности при отсутствии прямой видимости связь между соседними станциями может быть осуществлена с помощью пассивной ретрансляции На горе между станциями устанавливают два металлических листа — два зеркала (ход лучей от станции к станции через зеркала показан на рис 30).



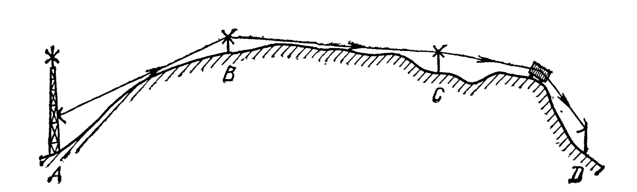


Рис. 31. Принцип работы радиорелейной линии (вверху показан ход лучей на горном участке СД с помощью пассивной ретрансляции из двух металлических зеркал)

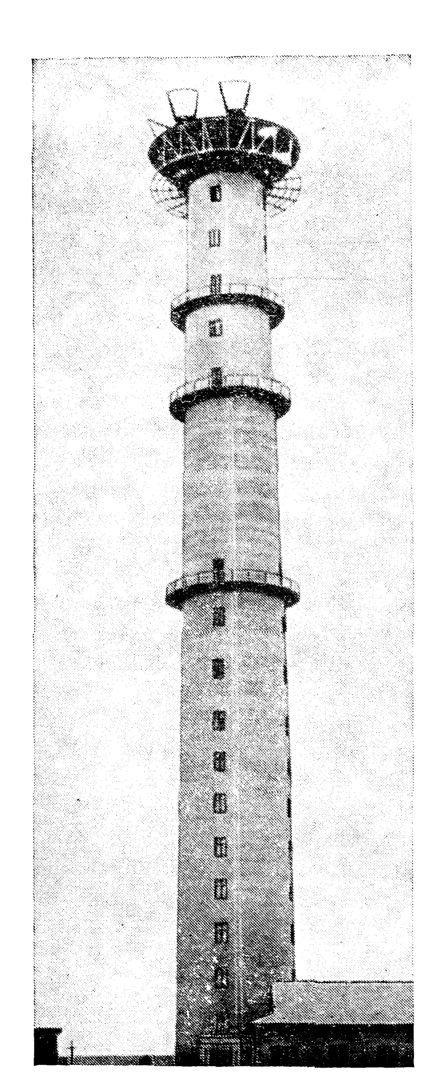


Рис. 32. Радиорелейная станция

При пассивной ретрансляции потери сигнала на трассе больше, чем при прямой видимости. Компенсация потерь на типовой аппаратуре достигается уменьшением длины интервала. Радиорелейная линия удобна тем, что на каждой станции можно установить ТВ ретранслятор.

Можно ли организовать РРЛ из цепи ТВ ретрансляторов? В таком случае первый ретранслятор принимает сигнал от мощной станции, второй ретранслятор принимает сигнал от первого, третий от второго и т. д. В принципе это возможно, но уже на втором ретрансляторе качество приема заметно ухудшится вследствие накопления собственных шумов приемников. В РРЛ такое явление также имеет место, но в меньшей степени благодаря применению остронаправленных антенн, входных цепей с малошумящим усилителем и т. д.

Спутниковые системы связи целесообразны, главным образом, для огромных малонаселенных и труднодоступных районов страны, где строительство наземных РРЛ сложно. Спутниковые линии связи работают по принципу наземной РРЛ, с той лишь разницей, что одна промежуточная приемопередающая станция находится на искусственном спутнике Земли. Сигнал от спутника принимается специальным ретранслятором, который передает его по эфиру или по кабелю на индивидуальные телевизоры.

Спутниковые системы связи принципиально различаются, прежде всего, видом используемого спутника. В настоящее время находят применение два вида искусственного спутника связи: спутники, которые обращаются по вытянутой эллиптической орбите со временем обращения около 12 ч, и геостационарные спутники с периодом обращения 24 ч.

Геостационарный спутник выводят на круговую экваториальную орбиту. Наблюдателю он кажется неподвижно висящим над Землей. Преимущества геостационарного спутника очевидны. Наземным антеннам не обязательно наличие устройства слежения за спутником. При прямой видимости они направляются прямо на спутник, на максимум сигнала. Угол места (возвышение) антенны определяется взаимным положением спутника и антенны. Антенна, расположенная на экваторе под спутником, имеет угол возвышения 90°, на границе зон обслуживания угол приближается к 5°.

С геостационарного спутника, расположенного на экваториальной орбите на высоте около 36 тыс. км, земная поверхность видна под телесным углом 18° в виде окружности, ограниченной ±80° по широте и 160° по долготе, с центром на экваторе. Если на спутнике установить передающую антенну с шириной диаграммы направленности 18°, то можно получить максимальную зону обслуживания, в которой проживает почти все население земного шара. При ширине диаграммы направленности антенны на спутнике 1° зона обслуживания с центром на экваторе будет представлять окружность радиусом 325 км. При смещении зоны обслуживания на север или на юг от экватора она принимает более сложную форму, например в виде яйца. Для формирования требуемой зоны конструкторы создают порой очень сложные антенны. Не следует думать, что геостационарный спутник неподвижен. Обычно нестабильность его положения в пространстве составляет ±2°. На геостационарной орбите это колебание спутника соответствует примерно 300 км.

Система приемных станций телевидения «Орбита» со спутником «Молния» использует высокую эллиптическую орбиту с высотой апогея (максимальное удаление от Земли) около 40 тыс. км и перигеем около 500 км. Плоскость орбиты спутника наклонена к плоскости экватора под углом 65° (рис. 33). Период обращения спутника вокруг Земли равен 12 ч, за сутки он делает точно два оборота. По законам механики спутник замедляет свое движение в области апогея. В это время осуществляется передача сигнала через спутник в течение 7...8 ч. Неудобство этой системы в том, что надо всегда направлять на движущийся спутник громоздкие антенны наземных станций, хотя это и делается автоматически.

Программа Центрального телевидения СССР из Телецентра (Москва, Останкино) по РРЛ подается на передающую наземную станцию в Подмосковье. Станция оборудована большой параболической антенной диаметром 25 м и передатчиком мощностью 10 кВт. Сигналы этой станции излучаются в сторону спутника, который их принимает, усиливает и вновь излучает на сеть приемных наземных станций (на рис. 33 показана одна станция). Сигналы, принятые наземными станциями, подаются на местные радиопередающие станции и далее в эфир на частотах своих каналов.

Типовая приемная станция «Орбита» расположена в круглом железобетонном здании, которое одновременно служит основанием для антенны и поворотного устройства. Антенна представляет собой параболическое зеркало диа-

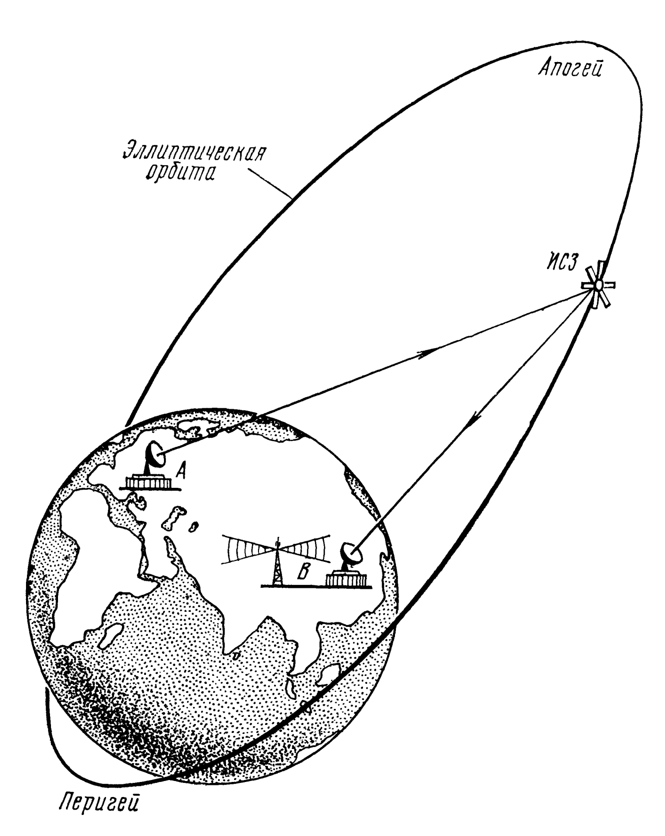


Рис. 33. Система телевизионного вещания «Орбита» с искусственным спутником Земли «Молния»:

А — передающий пункт; В — приемный пункт с подачей сигнала на передающую ТВ станцию

метром 12 м. На входе приемников применяется параметрический усилитель, существенно снижающий их собственные шумы. Длина волны сигнала на спутник и от спутника 5 ... 8 см.

Система «Молния — Орбита» действует с 1967 г. с целью подачи программ Центрального телевидения СССР в Магадан, Якутск, Южно-Сахалинск и другие отдаленные от Москвы города. Приемная сеть, состоящая из приемных станций (около 100), обслуживает территорию с населением в несколько миллионов человек. После ввода в действие искусственных спутников Земли на геостационарных орбитах действующие приемные станции «Орбита» стали делить на две группы. Одна группа работает со спутником типа «Молния», другая группа получает сигнал от спутника на геостационарной орбите, образуя систему «Стационар-Орбита».

Система «Экран» использует стационарный спутник «Стационар Т», выведенный на круговую орбиту высотой 36 500 км. Координаты подспутниковой точки 0° с. ш. и 99° в. д. Данная система исключает необходимость применения вращающихся антенн. Неизменное положение спутника по отношению к Земле

позволяет легко использовать остронаправленные антенны в наземных станциях и на спутнике. Приемные устройства получаются более простыми и дешевыми по сравнению с системой «Орбита».

Структурная схема системы «Экран» показана на рис. 34. Земная передающая станция (мощность передатчика 5 кВт, диаметр антенны 12 м) получает программу от ТВ центра и центра звукового радиовещания. Станция излучает сигнал, направленный на спутник; длина волны сигнала около 5 см. Спутник принимает его и ретранслирует на приемные станции. На спутнике сигнал усиливается и из сантиметрового диапазона переносится в дециметровый диапазон волн. В сторону Земли передача ведется на волне около 40 см [(714±12,5) МГц] с ЧМ. Мощность бортового передатчика 200 Вт, его антенна имеет усиление 1000 (30 дБ). Зона обслуживания системы «Экран» — огромная территория Сибири. Номинальная напряженность поля, создаваемая ИСЗ «Экран» на краю зоны, 29 мкВ/м.

Антенна приемника «Экран» состоит из полотен типа «волновой канал». Каждое полотно имеет 30 скрещенных директоров, вибратор и рефлектор. Скрещенные вибраторы применяются вследствие вращающейся поляризации сигнала (вращается вектор электрического поля). В зависимости от числа используемых полотен коэффициент усиления приемной антенны составляет 20...28 дБ.

Приемник содержит чувствительный усилитель высокой частоты на транзисторах, смеситель с гетеродином, усилитель промежуточной частоты и высококачественный демодулятор ЧМ сигналов. Серийно выпускаются приемные устройства двух типов. Приемное устройство I класса — высококачественный ЧМ приемник, предназначенный для подачи программы на телевизионные передатчики большой и средней мощности. Приемное устройство II класса — упрощенный приемник, предназначенный для преобразования ЧМ сигнала в стандартный ТВ сигнал изображения с амплитудной модуляцией, с целью дальнейшего его распределения между абонентами по кабельной сети либо через маломощный ретранслятор.

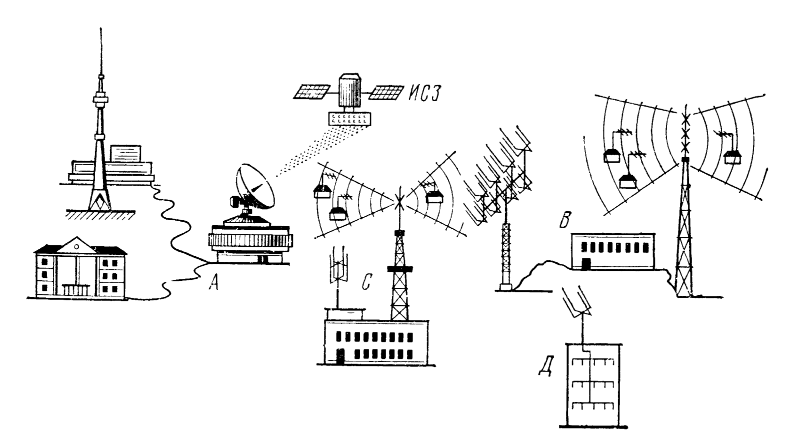


Рис. 34. Структурная схема комплекса ТВ вещания с искусственным спутником Земля «Экран»:

А — передающая станция на ИСЗ; В — прием с подачей сигнала на местный телецентр; С — прием с подачей сигнала на маломощный ретранслятор; Д — прием с распределением по домовой сети

Система «Экран» была создана в 1976 г. для передачи программ Центрального телевидения СССР на сеть ретрансляторов, расположенных в отдаленных и труднодоступных районах Сибири и Крайнего Севера. Такие станции работают более чем в 4000 населенных пунктах.

С 1989 г. введена система «Экран-М». Эта система, в отличие от первой, позволяет одновременно подавать на территорию Западной и Восточной Сибири две различные программы телевидения. Вторая программа работает на частоте (754±12,5) МГц. Признано целесообразным подавать по обоим каналам дубль Общесоюзной программы со сдвигом во времени (на +4 ч и +6 ч) для соседних часовых поясов.

Наряду с простотой и энергетической экономичностью система типа «Экран» имеет недостаток. Она не может быть распространена на Дальний Восток СССР, Камчатку, Чукотку и Европейскую часть страны. При расширении зоны приема, т. е. при расширении диаграммы направленности передающей антенны на спутнике, на территории соседних стран (Японии, Китая, Монголии) будет наблюдаться напряженность поля сигнала выше нормы, рекомендуемой Регламентом радиосвязи, иначе говоря, сигнал «Экрана» может вызвать помеху радиослужбам других стран.

Система «Москва» (1980 г.) использует стационарный искусственный спутник Земли типа «Горизонт». Принцип работы этой системы аналогичен системе «Экран». Система также работает на сеть маломощных ретрансляторов и на домовые кабельные сети, но длина волны от спутника и на спутник более короткая (5 ... 7,5 см).

В системе «Москва» применяются сравнительно простые приемные устройства с параболической антенной диаметром 2,5 м. В систему входят пять спутников, которые обеспечивают прием программ Центрального телевидения СССР на всей территории страны с учетом временного сдвига около (1000 приемных станций). При использовании специальных устройств, понижающих уровень мешающих сигналов, система позволяет вести прием программ центрального телевидения СССР не только в пределах территории Советского Союза, но и в советских учреждениях во всех западноевропейских, североафриканских и приграничных азиатских странах (посольствах, консульствах, корпунктах ТАСС и т. д.).

Система «Москва-глобальная» начала работать в 1989 г. В этой системе, как и в системе «Москва», используются спутники «Горизонт», однако на спутниках передающая антенна имеет более широкую диаграмму направленности (17°×17°). Благодаря этому с помощью двух спутников получают зону приема, охватывающую почти все страны мира. За пределами зоны остается только Северо-западная часть территории США. Естественно, расширение диаграммы антенны привело к уменьшению напряженности поля сигнала. Для компенсации потерь сигнала диаметр антенны пришлось увеличить с 2,5 до 4 м. Такая антенна имеет более узкий луч, поэтому ее приходится подстраивать на спутник с помощью специального устройства, так как положение спутника неустойчиво в пределах ±2°.

Система «Москва-глобальная» не создает помех радиослужбам других стран. Во-первых, напряженность поля от спутника невелика; во-вторых, антенны сантиметрового диапазона имеют более узкую диаграмму направленности. Задача подавления взаимных помех с такими антеннами упрощается.

Приемная сеть телевидения

Приемная сеть телевидения — это огромный парк телевизоров. В Советском Союзе их свыше 95 миллионов. Владельцы телевизоров подключают их к индивидуальной антенне либо к системе, имеющей коллективную антенну.

Прин индивидуальном приеме антенну в основном устанавливают вне помещения. Способ подключения одной антенны к телевизору всем известен, но иногда спрашивают — как подключить к телевизору несколько антенн? Как подключить антенну дециметрового диапазона? При использовании одной антенны она должна быть многоканальной, так как в большинстве населенных пунктов имеются 2—3 ТВ программы.

Для метрового диапазона волн широко используют, например, антенны типа ТАИ-12, «Луч». Однако эти простые многоканальные антенны не способны обеспечить удовлетворительное качество изображения в местах приема, расположенных на границе и вблизи границы зоны уверенного приема радиопередающей станции или там, где напряженность поля сигнала находится «на пределе». Из-за небольшого коэффициента усиления антенн и, следовательно, небольшого напряжения сигнала на входе телевизора изображение может быть постоянно или временами недостаточно контрастным. Вследствие невысокой помехозащищенности антенн сильнее проявляются сигналы, отраженные от местных предметов (ложные изображения), мешающие сигналы от соседних радиопередающих станций и промышленные помехи. Для метрового диапазона волн лучший является вариант, когда для каждого канала устанавливают одноканальные или малоканальные антенны. Две антенны, одна из которых рассчитана на прием ТВ каналов 1—5, другая — на 6—12, подсоединяются к фильтру сложения сигналов, расположенному в небольшой коробке. Кабель к телевизору идет уже от коробки, которую следует разместить вблизи антенн. Потери сигнала в фильтре незначительны (0,5 дБ).

В телевизоре, рассчитанном на прием дециметровых волн, для подключения кабеля дециметровой антенны имеется специальный вход, обозначенный ДМВ. Кабель стремятся сделать как можно короче (не более 10 м), поскольку в этом диапазоне потери в нем заметно возрастают.

К телевизору, не рассчитанному на прием дециметровых волн, необходима специальная приставка, которая «переносит» приходящий сигнал в канал метрового диапазона (например, типа «Омск», П-СК-Д-5-1). Приставка имеет два антенных входа. К одному входу подключаются две антенны (или одна антенна), работающие на метровых волнах, к другому — антенна дециметрового диапазона. Выход приставки соединяется с входом телевизора (рис. 35). Во избежание появления мешающего сигнала от местной радиопередающей станции приставка должна переносить сигнал в канал, не используемый местной радиопередающей станцией.

В некоторых типах телевизоров имеется один вход для антенн. В таких случаях антенны разных диапазонов подключаются к телевизору через специальный фильтр сложения.

При недостаточном уровне сигнала применяют антенные усилители. Для диапазона метровых волн выпускаются узкополосные и широкополосные усилители. Узкополосные рассчитаны для одного или нескольких ТВ каналов, широкополосные — для всех 12 ТВ каналов.

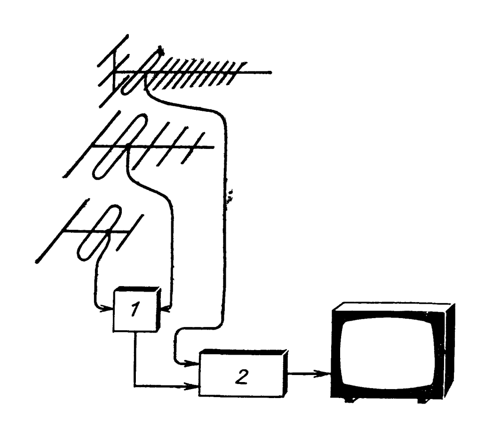


Рис. 35. Схема подключения к телевизору двух антенн в метровом диапазоне и одной антенны в дециметровом

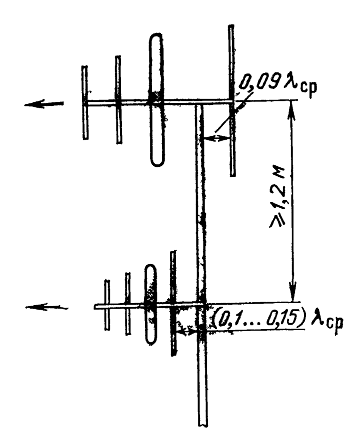


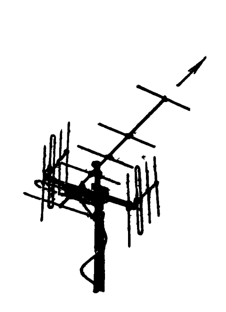
Рис. 36. Вариант расположения антенн для приема вертикально поляризованных волн (вверху для антенн ТВ каналов 1—5, внизу для ТВ каналов 6—12)

Антенный усилитель подключается сразу после антенны. Усилители эффективны только в тех случаях, когда используется длинный фидер и когда изображение есть, но оно бледное и неясное (в шумах). Если изображения совсем нет, то применение антенного усилителя бесполезно.

Для приема вертикально поляризованных волн вибраторы антенн устанавливают в плоскости, перпендикулярной поверхности земли. Установка таких антенн требует большой аккуратности, иначе не будет достигнут желаемый эффект — подавление мешающих сигналов с горизонтальной поляризацией волн. В частности, будет искажена диаграмма направленности. Один из возможных вариантов расположения антенн на металлической стойке показан на рис. 36. При приеме ТВ каналов 1—5 антенна крепится к стойке между рефлектором и активным вибратором на расстоянии 0,09λ (λ — средняя длина волны ТВ канала) от рефлектора При приеме каналов 6—12 антенна относится от стойки с помощью стрелы так, чтобы расстояние между стойкой и рефлектором было равно 0,1 ... 0,15λ. Кабели снижения обязательно прокладываются вдоль стойки. Для крепления таких антенн удобны стойки, сделанные из диэлектрика (дерева, пластмассы).

В некоторых городах радиопередающие ТВ станции работают в каналах метровых волн с различной поляризацией. В таком случае, при использовании многоканальной антенны, ее поворачивают на угол 45° (точное положение находится опытным путем). Если отмечается воздействие мешающих сигналов от соседних станций, от такого простого способа отказываются. Неправильно поступают те, кто для приема волн с различной поляризацией изменяет конструкцию самой антенны (в антенне «Волна» рефлектор ставят под углом 90° к вибратору).

Вариант расположения на одной мачте антенн с обоими видами поляризации показан на рис. 37. Две антенны для вертикальной поляризации (по бокам) могут быть выполнены для различных каналов либо составлять одну антенну из двух полотен.



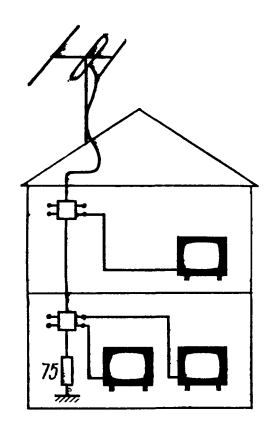


Рис. 37. Рис. 38.

Рис. 37. Вариант расположения на одной мачте антенн для горизонтальной (в центре) и вертикальной поляризации

Рис. 38. Схема подключения телевизоров в устройствах «антенна на подъезд»

В продаже имеются различные конструкции комнатных антенн. Однако с комнатной антенной, особенно в диапазоне метровых волн, редко удается получить удовлетворительное качество приема даже по одному каналу. На изображении видны многочисленные повторы контура изображения из-за отражения волн от стен комнаты и соседних зданий Качество изображения заметно меняется при перемещении по комнате людей

В дециметровом диапазоне можно получить хорошее качество изображения, если использовать многоэлементную комнатную антенну, установленную около окна, из которого видна передающая антенна

Для коллективного приема к антенне подключают различные устройства (разветвители, усилители), позволяющие подсоединить к ней два телевизора или даже значительно больше В самом простом случае, когда необходимо подключить два телевизора, конец кабеля снижения подводится к абонентскому разветвителю В разветвителе, например типа РА-2, мощность сигнала делится пополам, т е напряжение сигнала каждого телевизора уменьшается в $\sqrt{2}$ раз Разумеется, разветвитель должен быть согласован по волновому сопротивлению как с антенной, так и с выходом телевизора

В устройствах, называемых «антенна на подъезд», кабель снижения антенны на каждом этаже последовательно подключается к распределительным коробкам (рис 38) Для наглядности на рисунке показаны только четыре отвода в распределительных коробках В коробке через индуктивную связь сделаны отводы для подключения квартирных телевизоров При необходимости потери сигнала, возникающие в отводах, компенсируют с помощью общего усилителя

Коллективную антенну, работающую в диапазоне дециметровых волн, подключают к магистральному кабелю через конвертер Конвертер преобразует приходящий сигнал на частоту свободного канала на метровых волнах. В результате телезрители могут принимать программы, идущие на дециметровых

волнах на телевизоры, не рассчитанные на прием в этом диапазоне. В устройствах «антенна на подъезд» антенны обычно ставятся согласно типовому проекту без подбора для нее оптимального положения. Такая установка антенны не всегда обеспечивает удовлетворительное качество приема.

Кабельное телевидение — более сложная система коллективного телевизионного приема. Здесь сигнал от общей высококачественной антенны, установленной в наиболее благоприятной для приема точке, по разветвленной кабельной сети с усилителями подается на сотни и даже тысячи индивидуальных телевизоров.

Кабельное телевидение находит применение в больших городах, застроенных домами разной этажности. Разная высота домов приводит к тому, что более высокие дома загораживают более низкие от передающей антенны, т. е. нет прямой видимости и здесь наблюдаются интенсивные эхосигналы.

В крупных системах кабельного телевидения имеется головная станция. На головную станцию могут подаваться телепрограммы по РРЛ или спутниковым линиям связи, высококачественные звуковые программы на УКВ с ЧМ и т. д. Наличие головной станции позволяет получить дополнительные телевизионные и радиовещательные программы. Правда, для этого абонентам необходимо поставить дополнительный преобразователь частоты. На головной станции могут быть телекиноустановки и студии. Представляется возможность организовать обратные каналы, от телезрителей на головную станцию, например для участия в голосовании.

В некоторых странах мощные ТВ радиопередающие станции работают неполную неделю. Когда станция не работает, ее заменяет головная станция кабельного телевидения.

БЛИЖНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Под ближним приемом телевидения обычно понимают прием телевидения на расстоянии нескольких километров от передающей ТВ станции. В данной главе рассмотрен прием в зоне обслуживания ТВ станции. Зона обслуживания ограничивается примерно расстоянием прямой видимости. Внутри этой зоны напряженность поля, создаваемого станцией не ниже 300 ... 700 мкВ/м на метровых и 3200 мкВ/м на дециметровых волнах (см. рис. 21).

Общее представление о распространении УКВ при телевизионном вещании в реальных условиях дает рис. 39. Это фотография модели рельефа местности около одной передающей ТВ станции. В точке, где должна находиться передающая антенна, на модели установлена миниатюрная осветительная лампа. Ясно, что устойчивый прием следует ожидать там, где виден свет лампы. На север (вверх) от станции местность сравнительно ровная. В этом направлении освещенная область простирается дальше, чем в южном направлении, где гряда возвышенностей затеняет некоторые участки. Затененные участки в виде островков имеются и неподалеку от передающей станции. В реальных условиях на затененных участках все же будет какой-то прием, так как УКВ по сравнению со световыми волнами обладают большей способностью огибать препятствия. В зоне обслуживания станции могут быть различные условия приема телевидения из-за неодинакового распространения радиоволн над гладкой и неровной земной поверхностью.

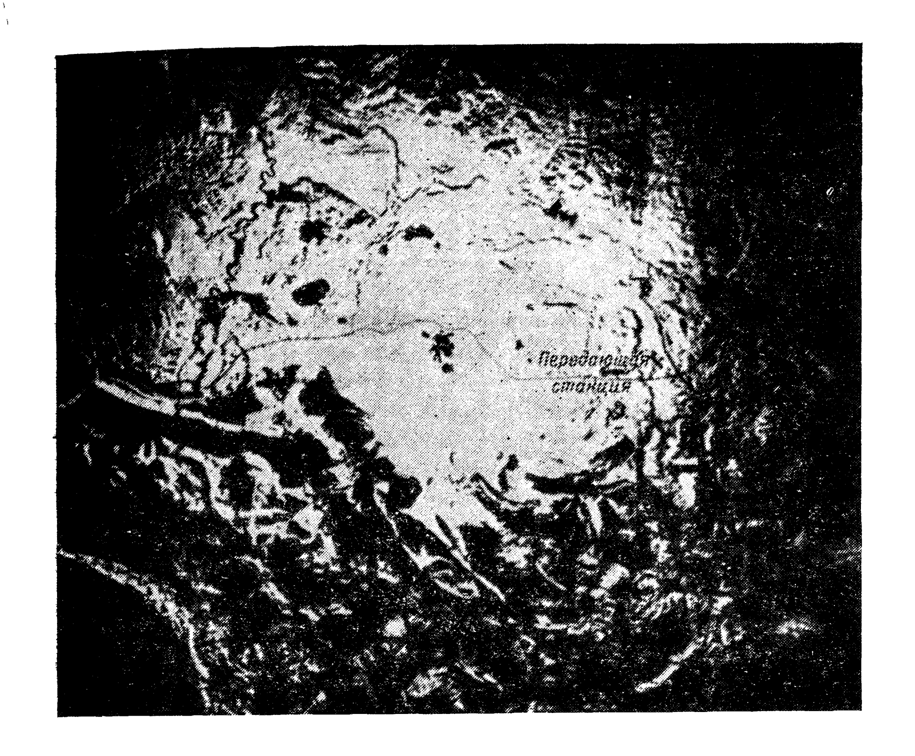


Рис. 39. Модель зоны прямой видимости ТВ станции (высота башни передающей антенны 200 м)

Еще более сложные условия ТВ приема возникают в больших городах. Большой современный город для УКВ представляет собой хаотическое нагромождение «экранов» и «зеркал». Ими могут быть каменные и железобетонные здания, мосты, заводские трубы, высоковольтные линии и др. При распространении радиоволн в этих условиях, естественно, возникают зоны тени и распределенные по случайному закону максимумы и минимумы напряженности поля (стоячие волны). Поэтому в том или ином микрорайоне города прием ТВ передач оказывается неудовлетворительным.

Распространение сигналов над ровной местностью и морем

Понятие ровной местности с точки зрения ее влияния на распространение радиоволн относительно. Местность, ровная для метровых волн, может быть уже неровной для дециметровых волн. В природе встречаются почти ровные поверхности: пустынно-степные районы, озера, моря и т. п. Равнинная местность отличается однообразной, более или менее ровной или слабо волнистой, поверхностью и отсутствием резко выраженных неровностей. Будем считать, что Земля (суши или воды) имеет идеальную сферическую поверхность.

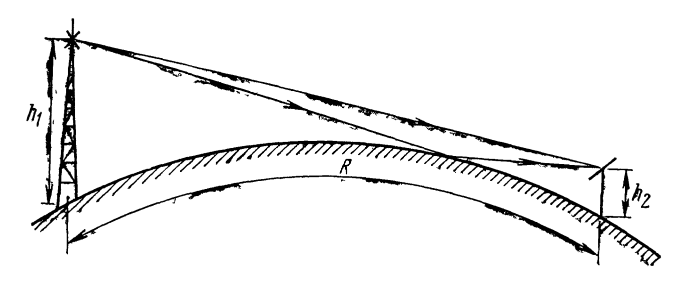


Рис. 40. Траектории радиоволн при распространении над ровной земной поверхностью

Расстояние прямой видимости на такой поверхности определяется по формуле (4). Распространение УКВ над ровной поверхностью в пределах прямой видимости характерно тем, что к приемной антенне приходит две волны: одна волна попадает к антенне по кратчайшему пути, другая — после отражения от земной поверхности, пройдя более длинный путь (рис. 40).

Напряженность поля волны E_0, проходящей по кратчайшему пути, равна напряженности поля волны, которая распространяется в условиях свободного пространства, т. е. в условиях, когда на нее не оказывает влияние Земля и атмосфера. Известно, что

$$E_0 = (222\sqrt{P})/R. \tag{7}$$

В этой формуле (как и в последующих) P — излучаемая мощность, кВт; R — расстояние от точки приема до передающей станции, км. При этом напряженность поля получается в милливольтах на метр.

Напряженность поля в точке приема определяется как результат интерференции прямой и отраженной волн по формуле

$$E_0 = \frac{444\sqrt{P}}{R}\left|\sin\left(\frac{360^\circ h_1 h_2 m}{R\lambda}\right)\right|, \tag{8}$$

где m — безразмерный коэффициент, учитывающий кривизну Земли, определяется приближенно по графику рис. 41; h_1, h_2 — высота передающей и приемной антенн; λ — длина волны сигнала. Надо подставить в формулу параметры под знаком синуса (h_1, h_2, R, λ) в одинаковых единицах, напряженность поля получится в милливольтах на метр. Модуль в формуле означает, что надо брать абсолютное значение синуса (знак не учитывается). Данная формула, называемая *отражательной*, позволяет рассчитывать напряженность поля и выбирать наилучшие условия приема. Формула справедлива для антенн, поднятых над землей по крайней мере на несколько метров.

Для расстояний не более примерно 25 км земную поверхность можно считать плоской, т. е. можно считать m=1. Из формулы (8) следует, что напряженность поля сигнала изменяется при изменении высоты установки антенн и расстояния. На рис. 5 было показано, как изменяется напряженность поля в зависимости от высоты. Изменение напряженности поля в зависимости от расстояния показано на рис. 42. На этом рисунке для значений R специально взят логарифмический масштаб для того, чтобы нагляднее показать максимумы и минимумы напряженности поля, т. е. лепестковую (интерференционную) струк-

туру поля. Для волны длиной 6 м максимум напряженности поля первого лепестка (первым лепестком называют лепесток, расположенный ближе других к границе прямой видимости) находится на расстоянии $R \approx 2$ км, максимум второго лепестка — на расстоянии 665 м (на рисунке он не виден). Для волны длиной 1 м максимум первого лепестка сдвигается к границе прямой видимости и находится при $R \approx 12$ км, максимум второго лепестка — при $R \approx 4$ км и т. д.

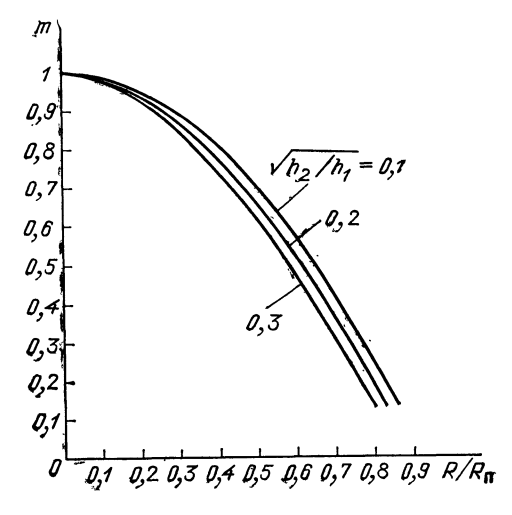


Рис. 41. График для определения коэффициента m, учитывающего кривизну Земли

Максимумы напряженности поля для ровной земной поверхности можно найти по формуле (2). Для больших расстояний высота первого максимума на разных расстояниях и в разных ТВ каналах, может быть определена по рис. 43. Из графика видно, что только на небольших расстояниях от передающей станции приемную антенну легко установить в точку максимума. С увеличением расстояния высота максимума резко уходит вверх. Достигнуть максимум не всегда возможно, но всегда целесообразно антенну поднимать повыше.

Пример. Телевизионный ретранслятор работает в канале 21 ($\lambda = 0{,}633$ м). Излучаемая мощность ретранслятора $P = 0{,}1$ кВт (100 Вт); высота его антенны 50 м. Требуется найти напряженность поля на расстоянии $R = 10$ км от ретранслятора при высоте приемной антенны $h_2 = 10$ м и значение поля в максимуме.

Подставив данные значения в формулу (8), найдем

$$E = \frac{444 \cdot \sqrt{0{,}1}}{10} \left| \sin \left(360^\circ \frac{50 \cdot 10 \cdot 1}{10 \cdot 10^3 \cdot 0{,}633} \right) \right| = 6{,}7 \text{ мВ/м}.$$

Максимальное значение поля

$$E_{макс} = \frac{444 \cdot \sqrt{0{,}1}}{10} = 14 \text{ мВ/м}.$$

На практике в большинстве случаев высота антенн намного меньше расстояния и

$$\frac{h_1 h_2 m}{R \lambda} \leqslant 0{,}1. \qquad (9)$$

Значения синуса в формуле (8) могут быть заменены его аргументом, в результате получаем *квадратичную формулу Введенского*

$$E = \frac{2{,}76 \sqrt{P} h_1 h_2 m}{R^2 \lambda},$$

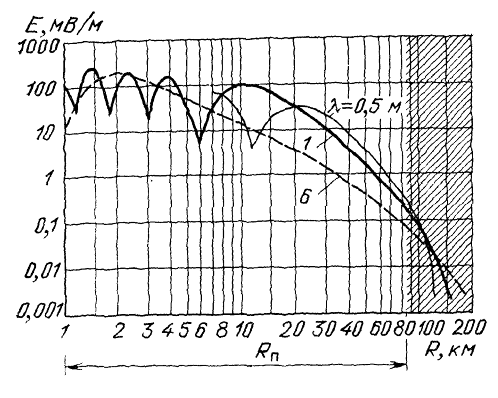


Рис. 42. Зависимость напряженности поля от расстояния при распространении радиоволн различной длины над ровной земной поверхностью (P=1 кВт; h_1=300 м; h_2=10 м). Поляризация радиоволн — горизонтальная

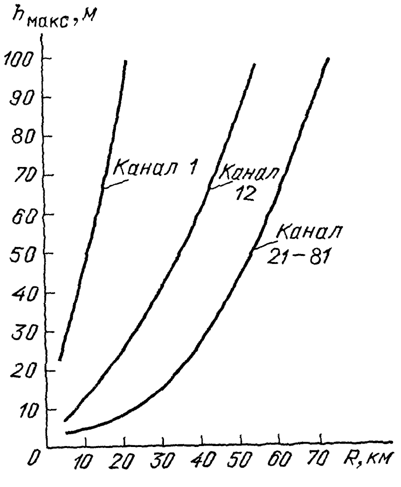


Рис. 43. График для определения высоты приемной антенны, при которой отмечается первый максимум уровня сигнала (вверху эскиз расположения максимумов)

где R выражено в километрах, P в киловаттах, h_1, h_2 и λ в метрах. Эта формула была получена в 1928 г. академиком Б. А. Введенским. Она проверена экспериментально. Название «квадратичная» говорит о том, что напряженность поля убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, т. е. очень быстро. Напряженность поля возрастает пропорционально высоте антенн и $\sqrt{P}$. Напряженность поля увеличивается с уменьшением длины волны.

Формулу Введенского можно применять при соблюдении неравенства (9) и при $R \leqslant 0,8R_п$. Это означает, что формула пригодна для участка расстояний от первого максимума до $0,8R_п$, т. е. для правого склона первого интерференционного лепестка. Для случая, показанного на рис. 42, при длине волны 6 м (ТВ канал 1) формулу Введенского можно применять на участке примерно от 5 до 65 км; для волны 1 м (ТВ канал 2) — от 30 до 65 км; для дециметровых волн этот участок становится совсем небольшим. На рис. 42 зависимости напряженности поля от расстояния построены при неполном отражении радиоволны от земной поверхности (Φ<1). Естественно, при зеркальном отражении радиоволны минимумы напряженности поля были бы более глубокие, а максимумы выделяются сильнее. Вблизи границы прямой видимости еще сохраняется зависимость, при которой напряженность поля на более короткой волне выше. За границей прямой видимости эта зависимость становится обратной, т. е. большая напряженность поля отмечается на более длинной волне. Очевидно, здесь уже действует другой механизм распространения — дифракция радиоволн.

Пример. Радиопередающая ТВ станция работает в ТВ канале 5 ($\lambda = 3{,}13$ м) и имеет излучаемую мощность 5 кВт. Высота передающей антенны $h_1 = 180$ м, приемной $h_2 = 9$ м. Требуется определить напряженность поля на расстоянии $R = 50$ км.

Сначала находим расстояние прямой видимости, подставляя данные значения в формулу (1):

$$R_п = 4{,}12 \cdot (\sqrt{180} + \sqrt{9}) = 67{,}5 \text{ км}.$$

Затем рассчитываем отношение $R/R_п = 50/67{,}5 = 0{,}74$ и $\sqrt{\dfrac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\dfrac{9}{180}} \approx 0{,}2.$ По рис. 41 находим коэффициент $m \approx 0{,}3$.

Определяем справедливость неравенства (9)

$$\frac{180 \cdot 9 \cdot 0{,}3}{50 \cdot 10^3 \cdot 3{,}13} \approx 0{,}003 < 0{,}1.$$

Рассчитываем значение $0{,}8\,R_п = 0{,}8 \cdot 67{,}5 = 54$ км.

Так как неравенство (9) выполняется, $R < 0{,}8\,R_п$ (50<54 км), применяем формулу Введенского

$$E = \frac{2{,}76 \cdot \sqrt{5} \cdot 180 \cdot 9 \cdot 0{,}3}{50^2 \cdot 3{,}13} \approx 0{,}38 \text{ мВ/м}.$$

На границе прямой видимости, и особенно за ней, становятся заметными замирания сигнала. В основном это объясняется изменением рефракции радиоволн. При повышенной (положительной) рефракции антенна приемника, находящаяся в тени, может оказаться в пределах прямой видимости. При отрицательной рефракции наблюдается обратная картина. Прием может стать невозможным там, где он был при нормальной рефракции. Наибольшие уровни сигналов наблюдаются обычно в течение всего периода хорошей погоды. Можно заметить, что в этот период сигнал неустойчив и колеблется от часа к часу и ото дня ко дню. С наступлением пасмурных, особенно дождливых дней, напряженность сигнала резко падает, но сигнал становится стабильнее. Замирания уровня сигнала могут быть такими глубокими, что изображение полностью пропадает. Скомпенсировать уменьшение и замирания уровня сигнала с помощью антенного усилителя не всегда возможно.

Распространение сигналов над холмистой местностью

Холмистая, пересеченная местность отличается волнообразной поверхностью, образованной неровностями — холмами. Высота холмов от подошвы до вершины примерно 30...100 м. К холмистой местности относятся, например, многие области Европейской части Советского Союза: Московская, Ленинградская, Тверская, Орловская и др.

При рассмотрении условий ТВ приема на холмистой местности приходиться учитывать влияние неровностей земной поверхности и разных местных предметов.

Ослабление сигналов, обусловленное растительностью, меняется в зависимости от частоты сигнала. Это значит, что такие препятствия являются «полупрозрачными». Они вносят ослабление тем больше, чем выше частота. Практи-

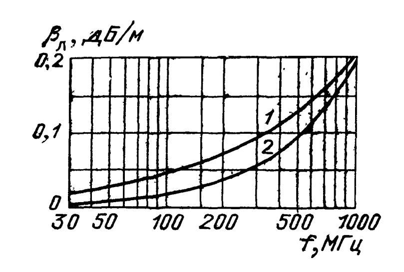


Рис. 44. Ослабление радиоволн в лесу:
1 — вертикальная; 2 — горизонтальная поляризации волн

чески непрозрачными препятствиями являются неровности земной поверхности и железобетонные строения.

Иногда приемную антенну располагают в окружении леса. Стволы, ветки и листья деревьев являются своеобразными пассивными антеннами, которые поглощают, отражают и рассеивают энергию радиоволн. Поскольку такие антенны-деревья расположены хаотически и имеют самые различные размеры, то в точке приема отмечаются случайно расположенные максимумы и минимумы напряженности поля как по высоте, так и перпендикулярно направлению на передающую станцию. При вращении приемной антенны направление прихода максимального сигнала не всегда совпадает с направлением на станцию. Степень уменьшения напряженности поля в лесу можно оценить по погонному ослаблению сигнала $\beta_л$ на рис. 44. Из рисунка видно, что на частоте ТВ канала 1 оно составляет примерно 1 дБ на 100 м; на частоте канала 12 около 4 дБ на 100 м и т. д.

Например, приемная антенна находится на открытом месте перед лесом, ниже высоты деревьев. Напряженность поля сигнала превышает минимально допустимое значение на 12 дБ (в 4 раза). При переносе точки приема в лес изображение начнет пропадать в канале 1 через 1200 м, в канале 12 через 300 м, в канале 30 через 120 м и т. д. График на рис. 44 справедлив для летнего времени, когда деревья стоят с листвой; зимой потери напряженности поля сигнала уменьшаются. При оценке напряженности поля в лесу необходимо учитывать высоту и плотность деревьев и даже их породу. Так, наименьшие потери наблюдаются в лесу из буковых деревьев (возможно из-за малого содержания влаги). В мокрых деревьях потери возрастают. Сказанное выше объясняет некоторые эффекты, наблюдаемые при ТВ приеме в лесу. В ряде случаев телезрители принимают программы, например, в канале 3 и не могут принять в 12-м. После сильного дождя снижается качество изображения, пропадает цвет. Зимой качество приема может быть лучше, чем летом.

При приеме телепередачи непосредственно за лесом можно видеть те же эффекты, что и в лесу. Максимумы и минимумы напряженности поля могут быть из-за интерференции волн, прошедших через лес и обогнувших его.

На рис. 45 приведены характерные экспериментальные зависимости ослабления напряженности поля, полученные при изменении высоты приемной антенны за рощей. Высота деревьев в роще около 9 м, расстояние от антенны до рощи 65 м. Кривая, полученная на волне $\lambda=3{,}5$ м, характеризует диапазон метровых волн, а кривая для $\lambda=0{,}5$ м — диапазон дециметровых волн. Хорошо видно, что на той и другой волне максимальная напряженность поля сигнала получается при установке антенны выше кромки деревьев на 8 м и поднимать антенну выше не нужно, так как сигнал далее не возрастает. При ус-

тановке антенны на высоте деревьев рощи напряженность поля сигналов уменьшается примерно в 2 раза (—6 дБ). При установке антенны на 5 м ниже кромки деревьев, напряженность поля сигнала уменьшается в 5—6 раз (—15 дБ). В тени препятствия большее ослабление испытывает бóлее короткая волна, а при наличии прямой видимости — бóлее длинная волна. Отдельно стоящие перед приемной антенной деревья снижают напряженность поля незначительно.

Особенность распространения УКВ над холмистой местностью в том, что здесь встречаются самые разнообразные условия ТВ приема. В одних точках приема, где есть прямая видимость, имеются интерференционные максимумы и минимумы напряженности поля. Часто это наблюдается, когда перед приемной антенной расположены открытое поле, луг или озеро. В других точках приема антенна находится в тени какого-либо препятствия. На рис. 46 показаны реальный профиль рельефа местности около передающей ТВ станции (нижний рисунок) и результат измерения напряженности поля на этой местности (верхний рисунок). Видно, что здесь нет той четкой интерференционной картины поля, которая наблюдается при распространении УКВ над ровной поверхностью.

На участках с прямой видимостью напряженность поля оказывается выше на более короткой волне. На закрытых участках наблюдается обратная частотная зависимость. Форма зависимости напряженности поля от расстояния во многом повторяет форму профиля местности. На расстояниях около 23, 27 и 43 км местность приподнята и напряженность поля соответственно растет. За холмами она резко падает, это область тени. В некоторых случаях напряженность поля здесь оказывается выше напряженности поля над ровной земной поверхностью, благодаря тому, что холмы в какой-то степени являются пассивным ретранслятором. Падающие на холмы радиоволны частично переизлучаются в область тени. Это явление называют «усилением за счет препятствия».

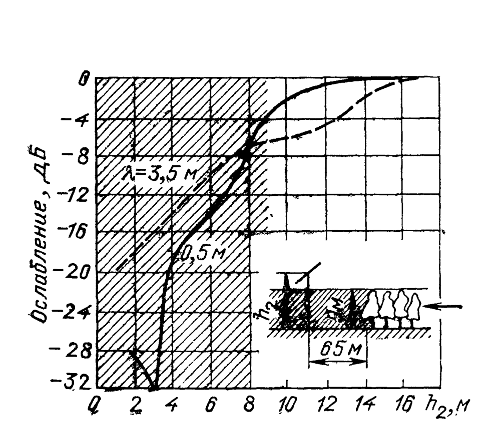


Рис. 45. Характер ослабления радиоволн при изменении высоты приемной антенны за рощей (стрелка показывает направление прихода волн)

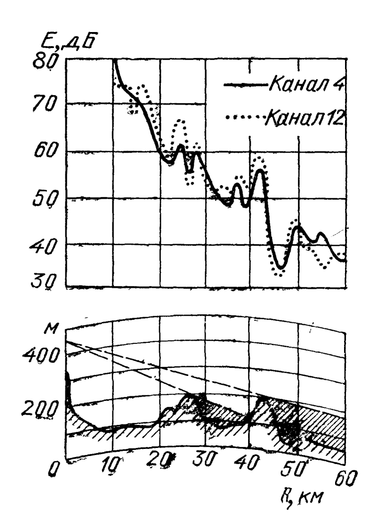


Рис. 46. Характер зависимости напряженности поля от расстояния на холмистой местности (P=1 кВт; h_1=320 м; h_2=3 м)

Качество ТВ изображения при приеме на холмистой местности в деревнях и поселках в основном оказывается удовлетворительным (при достаточном уровне сигнала). Наблюдаемые порой повторные изображения, чаще при вертикальной поляризации, возникают из-за эхосигналов, пришедших от леса, линий электропередачи, опоры радиорелейной станции и т. п. Эхосигналы могут также проявляться при отсутствии прямой видимости, например в овраге, когда приемная антенна одним склоном затенена, тогда как другой склон хорошо «освещен» и, естественно, создает сильное отражение радиоволны.

Природа замираний на холмистой местности в принципе та же, что и на ровной местности. Для иллюстрации на рис. 47 показаны изменения напряженности поля сигналов в течение суток в каналах 1, 11 и 33, которые наблюдались в ясную погоду вблизи границы зоны обслуживания на расстоянии 100 км от Общесоюзной радиопередающей ТВ станции, расположенной в Москве. Как видим, наибольшая амплитуда колебаний была в канале 33. Ночью напряженность поля была выше, чем днем, примерно на 20 дБ (в 10 раз по напряженности поля). При пасмурной дождливой погоде уровни сигналов практически не менялись.

Напряженность поля сигналов на холмистой местности может быть определена точно лишь с помощью измерений. Приближенная оценка возможна по так называемым «кривым распространения» Международного консультативного комитета по радио (МККР), который рекомендует единые кривые для диапазона метровых волн (рис. 48) и диапазона дециметровых волн (рис. 49). Кривые приводятся для различных высот подвеса передающей антенны, при выводе подвеса приемной антенны над землей 10 м. Напряженность поля, указанная на оси ординат (обозначим ее E^1), соответствует излучаемой мощности 1 кВт. Расчет напряженности поля E при какой-либо иной мощности излучения P производится по формуле

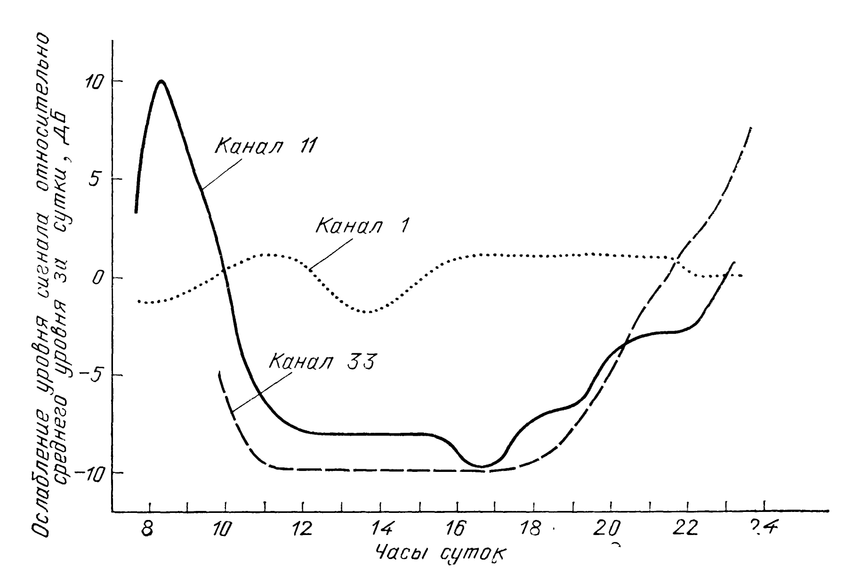


Рис. 47. Изменения напряженности поля в течение суток вблизи границы прямой видимости (результаты эксперимента)

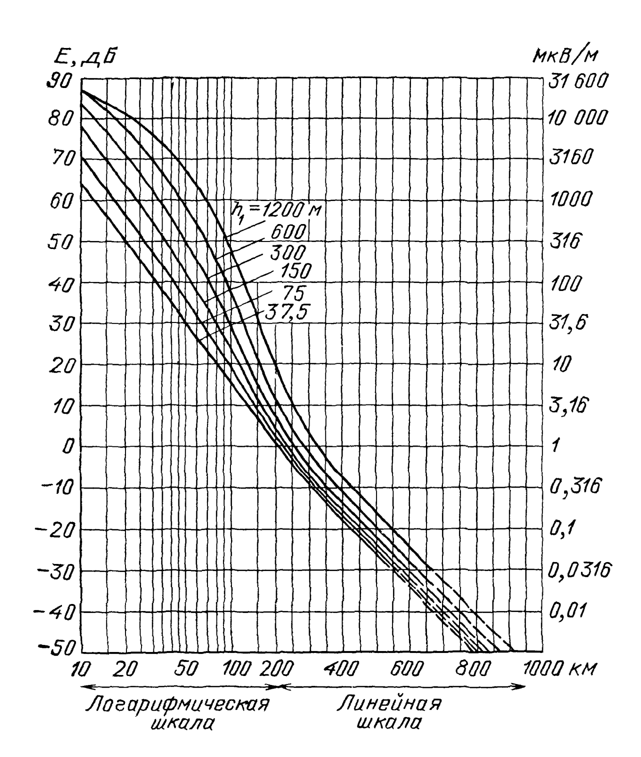


Рис. 48. Кривые распространения МККР для диапазона частот 30...250 МГц. На вертикальной оси показана средняя напряженность поля, усредненная по различным пунктам и по времени, $h_2 = 10$ м (суша)

$$E = E^1 \sqrt{P}. \qquad (10)$$

Кривые распространения были получены усреднением многочисленных измерений напряженности поля на местности. На расстояниях, не превышающих расстояние прямой видимости, разброс отдельных измерений напряженности поля получается в основном из-за разной высоты точек приема. В местах приема, расположенных в лесистой местности, за холмами, в низине (по берегам рек и озер), напряженность поля, как правило, в 2—3 раза ниже, чем указано на кривых, а при приеме на возвышенностях, господствующих над окружающей местностью, во столько же раз больше. На расстояниях прямой видимости и более начинают сказываться колебания уровня сигнала во времени, так как на распространение радиоволн начинает влиять атмосфера.

Кривые распространения показывают напряженность поля, усредненную не только по различным точкам приема, но и по времени. В какой-то период напряженность бывает выше, в какой-то ниже, а в среднем (в 50% времени за год) равна значениям, указанным кривыми. Можно считать, что напряженность поля пропорциональна изменению высоты подъема антенны. Увеличение высоты антенны с 10 до 20 м приводит к увеличению напряженности поля в среднем в 2 раза. Снижение приемной антенны с 10 до 5 м приводит к уменьшению напряженности поля в среднем в 2 раза. Рассмотрим применение кривых распространения МККР для оценки напряженности поля в точке приема.

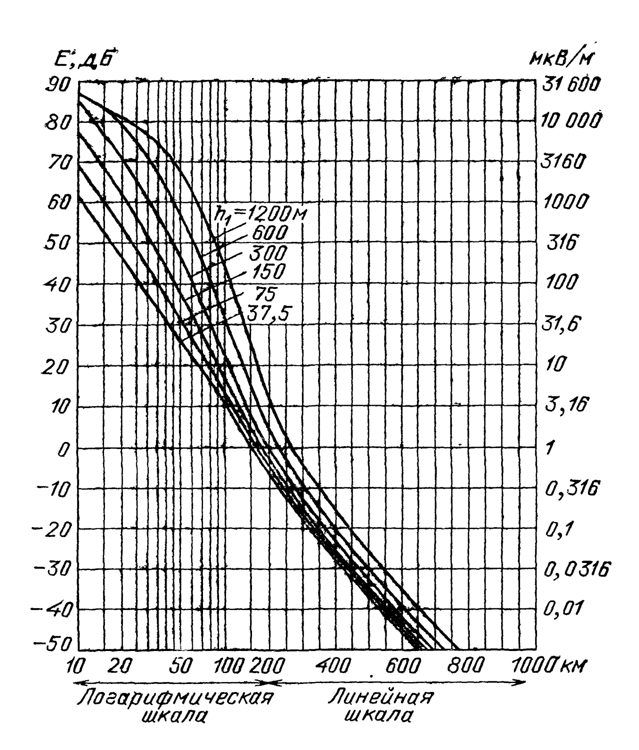


Рис. 49. Кривые распространения МККР для диапазона частот 450 ... 1000 МГц, $h_2 = 10$ м (суша)

Пример. Расстояние до передающей ТВ станции $R = 70$ км, высота передающей антенны $h_1 = 300$ м, приемной — $h_2 = 5$ м, мощность излучения станции $P = 350$ кВт. Станция работает в каналах метрового диапазона. Требуется определить напряженность поля в месте приема.

По графику рис. 48 для $h_1 = 300$ м, $R = 70$ км, $h_2 = 10$ м и $P = 1$ кВт имеем $E^1 = 40$ дБ (100 мкВ/м). Согласно (10) при 350 кВт. излученной мощности $E = 100 \cdot \sqrt{350} = 1870$ мкВ/м. Так как высота антенны в 2 раза меньше 10 м, расчетную напряженность поля уменьшаем вдвое, тогда $E = 935$ мкВ/м. Это — среднее значение в различных местах приема. В низкорасположенных точках приема следует ожидать напряженность поля в 2—3 раза меньше, т. е. 310 ... ... 467 мкВ/м, а на возвышенностях 1870 ... 2800 мкВ/м.

При распространении радиоволн над морем расчет напряженности поля проводится аналогично, но полученное значение следует удвоить.

Для дециметрового диапазона есть такие сведения — в сельской местности внутри большинства жилых деревянных и каменных домов напряженность поля получается меньше, чем снаружи, примерно в 4 раза (—12 дБ). Если дом окружен деревьями — в 6 раз (примерно — 15 дБ). Ослабление напряженности поля в многоквартирных жилых домах доходит до 10 (—20 дБ).

Для установки антенн на чердаке необходимо знать потери сигнала в кровле крыши. В дециметровом диапазоне волн в кровле из черепицы потери сигнала на каждый сантиметр толщины составляют примерно 1 дБ, во влажном состо-

яния — примерно 3 дБ. В кровле из шифера в сухом состоянии потери около 2,5 дБ на сантиметр, во влажном состоянии 3 дБ.

По кривым рис. 48 и 49 можно определить средний радиус зоны обслуживания радиопередающих станций. Радиус зоны равен расстоянию, где напряженность поля падает до минимального допустимого значения (см. рис. 22) при известных излучаемой мощности станции и высоте передающей антенны. На равнинной местности граница зоны уверенного приема от радиопередающей станции имеет форму окружности. На холмистой местности эта граница зоны имеет вид замкнутой кривой линии, лишь отдаленно напоминающей окружность. Для точек приема, расположенных на низких участках местности и в лесу, расстояние до границы зоны будет меньше, а на возвышенных участках больше среднего радиуса, вычисленного с помощью приведенных графиков.

Распространение сигналов в горной местности

Горная местность — это местность, где высота гор выше примерно 150 м. Многообразие горного рельефа может создать прямую видимость на большие расстояния или сильно ее ограничить. Граница зоны уверенного приема радиопередающих станций сравнительно легко определяется с помощью топографических карт. Она проходит там, где вершины горы ограничивают прямую видимость. В пределах прямой видимости условия ТВ приема такие же, как на ровной и холмистой местностях.

На большом расстоянии с прямой видимостью (50 ... 150 км и более) принятые сигналы часто оказываются устойчивее во времени по сравнению с приемом на равнинной и холмистой местностях на таком же расстоянии. Если на равнинной и холмистой местностях замирания связаны с рефракцией и интерференцией прямой и отраженной от поверхности земли волн, то в горной местности вследствие большого просвета на трассах и изрезанности местности эта причина замираний часто исключается.

Причина замираний уровня сигнала в горной местности — влияние неоднородностей воздуха, которые как система случайно расположенных линз вызывают преломление, отражение и рассеяние волны, проходящей через такую неоднородную среду (рис. 50). Неоднородности представляют собой объемы воздуха, в которых температура, влажность и давление, а следовательно, и диэлектрическая проницаемость отличаются от окружающего воздуха. Объем и форма неоднородностей непрерывно видоизменяются во времени, исчезают и появляются вновь, движутся с потоком воздушных масс. Неоднородности значительной интенсивности создают восходящие и нисходящие потоки вблизи гор. С увеличением расстояния волна встречает все большее количество неоднородностей, поэтому такого рода замирания сказываются на расстояниях прямой видимости свыше примерно 50 км. Сильное влияние оказывает длина волны. Замирания сказываются в большей степени на дециметровых и более коротких волнах. Радиоволны метрового диапазона легче огибают неоднородности, вследствие этого их влияние невелико. Неоднородности создают потери уровня сигнала, но в диапазонах метровых и дециметровых волн они незначительны.

В условиях прямой видимости дальность приема ограничивается излучаемой мощностью радиопередающей станции. Прием будет возможен, если создаваемая станцией напряженность поля будет не меньше минимально необходимой.

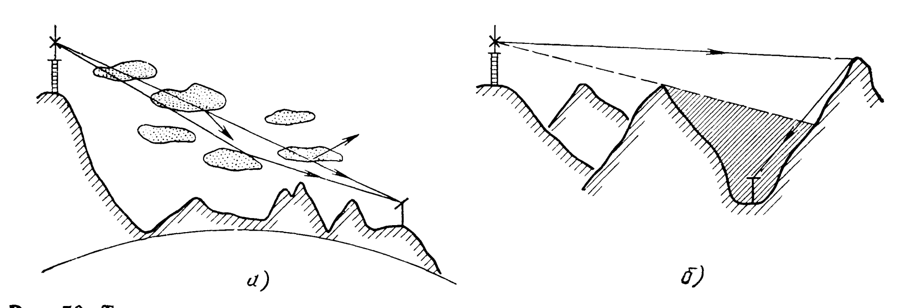


Рис. 50. Траектории распространения радиоволн в горах:
а — при наличии прямой видимости на большом расстоянии; *б* — в тени горных препятствий

В тени горных препятствий устойчивый прием возможен только тогда, когда напряженность поля не ниже минимально требуемой и преобладает один сигнал. Например, были проведены наблюдения и измерения ТВ сигнала по дороге вдоль горного ущелья от г. Адлер в сторону Красной Поляны. Телевизор и измеритель напряженности поля были установлены в автомашине, высота приемной антенны составляла 4 или 10 м. Через каждые 0,5 км измерялся уровень сигнала и оценивалось качество изображения от радиопередающей станции г. Сочи. Высота антенны станции над уровнем моря 270 м, расстояние до станции около 23 км. Высота гор на трассе 200 ... 400 м. Результаты измерений напряженности поля в ТВ каналах 1 и 10 показаны на рис. 51.

В начале пути в г. Адлер уровень сигнала был сравнительно высокий. На расстоянии 5 ... 17 км уровень сигнала резко упал (в этом месте ущелье сужается). Поворачивая антенну, можно было видеть, что сигналы из-за отражения и рассеяния волн господствующими вершинами приходят со стороны, противоположной направлению на передающую станцию. Приемная антенна часто показывала несколько максимумов сигнала напряженности поля, причем для каналов 1 и 10 они не всегда совпадали. Вращая антенну, можно было видеть, что максимальный сигнал не всегда был при исходной горизонтальной поляризации. Это говорит о том, что при переизлучении волн происходила некоторая деполяризация сигнала. На экране телевизора наблюдалось многоконтурное изображение, качество изображения — 2 балла. На 17—18-м километре дорога поднимается в горы. В направлении г. Сочи местность становится открытой. Естественно, здесь уровень сигнала возрастал, получался его максимум при ориентировании антенны на станцию, оценка изображения не хуже 4—5 баллов. Кривые на рис. 51 построены для одинаковой излучаемой мощности 10 кВт в обоих каналах с целью показать, что в глубокой тени напряженность

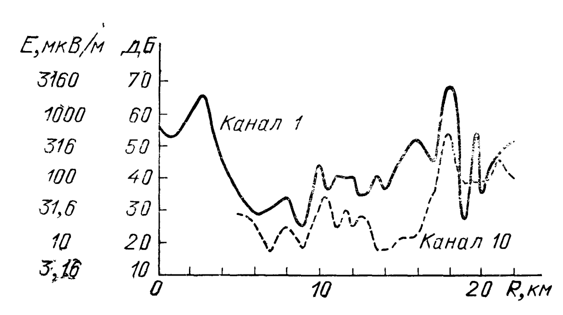


Рис. 51. Характерные изменения напряженности поля в горном ущелье (прием от радиопередающей ТВ станции г. Сочи на расстоянии 24 км)

поля в канале 10 меньше, чем в канале 1, а вблизи прямой видимости это различие стирается. В действительности, в канале 10 излучаемая мощность и соответственно напряженность поля из-за большего коэффициента усиления передающей антенны была больше на 6 дБ.

В тени гор обычно слабо выражена зависимость напряженности поля от высоты подвеса приемной антенны. Подъем приемной антенны с 3 до 10 м дает увеличение напряжения в среднем в 1,3 раза.

Иногда надо рассчитать напряженность поля сигналов в тени гор для оценки их мешающего действия. Для этого можно воспользоваться кривыми распространения МККР (см. рис. 48 и 49) с соответствующими поправками. На частотах 30 ... 250 МГц при высоте холмов на трассе 100 ... 150 м рассчитанное по кривым значение напряженности поля следует уменьшить на 5 дБ; при высоте гор 150 ... 300 м — на 10 дБ; на частотах 450 ... 1000 МГц к этим поправкам следует добавить еще 5 дБ.

Распространение ТВ сигналов в большом городе

Характер распространения УКВ. В большом городе, особенно вблизи передающей станции, распространение УКВ зависит от многих причин: частоты и поляризации радиоволн, плотности застройки района и многих других факторов. В общем случае при наличии прямой видимости передающей антенны в точку приема приходит прямая волна, волны, отраженные от земли и окружающих предметов (рис. 52). Волны, отраженные от земли, — это волны, отраженные от площадей улиц, крыш впереди стоящих зданий и даже от крыши, на которой расположена приемная антенна. В результате интерференции в месте приема образуются максимумы и минимумы напряженности поля.

При изменении высоты подвеса антенны уровень сигнала случайным образом возрастает и падает (рис. 53). То же, но с меньшей амплитудой наблюдается при перемещении антенны перпендикулярно трассе и вдоль направления приема. Чем короче длина волны канала, тем чаще наблюдаются такие колебания сигнала. При работе передающей станции с горизонтальной поляризацией волн, наибольшие колебания сигнала обычно наблюдаются при изменении высоты подвеса антенны. При вертикальной поляризации и наличии высоких строений около приемной антенны наибольшие колебания сигнала отмечаются при переносе антенны перпендикулярно направлению приема. Объясняется это

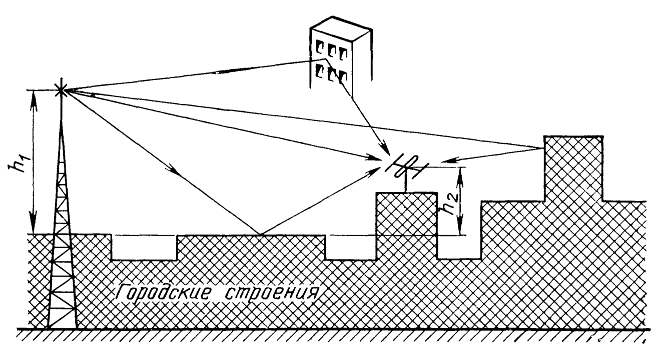


Рис. 52. Распространение ТВ сигналов в городе при наличии прямой видимости

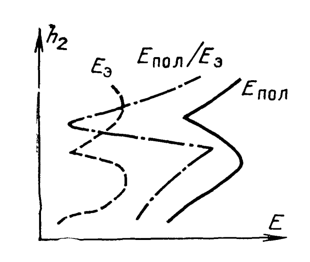


Рис. 53. Изменение напряженности полей при изменении высоты приемной антенны над крышей дома в городе: $E_{пол}$ — напряженность поля полезного сигнала; $E_э$ — напряженность поля эхосигналов; $E_{пол}/E_э$ — отношение этих напряженностей

тем, что горизонтально поляризованные волны сильнее отражаются от земли, а вертикально поляризованные — от различных протяженных по высоте предметов (стены зданий, заводские трубы и т. п.). Вертикально поляризованный вектор электрического поля оказывается к таким предметам параллелен, и отражение от них происходит так же, как от земли при горизонтальной поляризации. Колебания уровня сигнала при переносе антенны вдоль направления приема проявляются в тех случаях, когда сзади антенны находятся высокие здания, отражающие радиоволны.

Максимумы и минимумы напряженности поля полезного и отраженных сигналов в пространстве меняются случайным образом и обычно не совпадают. Поэтому лучшее изображение будет не в точке максимума полезного сигнала, а в точке, где будет большее отношение уровня полезного сигнала к уровню отраженных сигналов.

Волны, отраженные от земли и от близкорасположенных предметов (на расстояниях менее примерно 50 м), влияют в основном на напряженность поля в точке приема. В редких случаях они могут вызвать лишь окантовку изображения и искажение амплитудно-частотной характеристики тракта распространения. Окантовка может быть при установке приемной антенны на крыше высотного здания рядом с передающей станцией. При этом получается уже заметная разность хода между прямой и отраженной от Земли волн. Искажение амплитудно-частотной характеристики возможно в тех случаях, когда отраженная волна имеет такую же интенсивность, как и прямая волна. Различимые ложные изображения создают эхосигналы от высоких строений, расположенных в радиусе 0,05 ... 2 км от приемной антенны. Вероятность их появления увеличивается в районах города, застроенных зданиями различной высоты. Повторные изображения, как правило, возникают при установке антенны в тени препятствий (особенно при вертикальной поляризации волн), где она принимает ослабленный полезный сигнал (рис. 54). Естественно, что прежде скрытые отраженные сигналы, шумы и помехи становятся более заметны. Не случайно зону тени называют «зоной помех».

Чтобы лучше себе представить условия приема телевидения с вертикальной поляризацией волн, расскажем о приеме в автомашине с портативным телевизором. Антенна телевизора представляет собой вертикальный штырь, который, как известно, не обладает направленными свойствами в горизонтальной плоскости. При движении по улицам города изображение удовлетворительно на тех улицах, где видна передающая антенна. Там, где антенна закрыта городскими строениями, в левой части экрана появляются вертикальные полосы всевозможных оттенков от светлого до черного. Во время движения автомашины полосы по экрану перемещаются. На некоторых улицах через определенное рас-

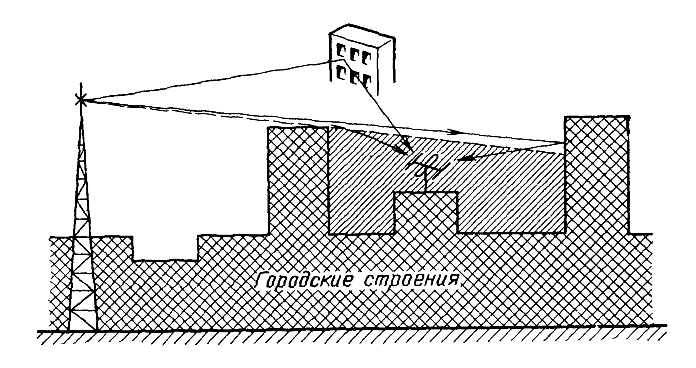


Рис. 54. Распространение ТВ сигналов в городе при установке приемной антенны в тени здания

стояние изображение исчезает в шумах и одновременно возникают вертикальные полосы. Из этого примера видно, что при вертикальной поляризации волн для удовлетворительного приема очень важно наличие прямой видимости и направленности приемной антенны.

Вертикальные полосы представляют собой строчные бланкирующие импульсы, приходящие с большим запаздыванием. В каналах, работающих на дециметровых волнах, ложные изображения возникают значительно реже, чем на метровых волнах. Отчасти это происходит потому, что местные предметы в большинстве случаев имеют неровную отражающую поверхность и дециметровые волны отражаются от них слабее, чем метровые, отчасти потому, что на дециметровых волнах обычно используются более направленные антенны.

В многоэтажных жилых зданиях телевизоры подключены к общей антенне. Если здание расположено вблизи телецентра и передающая антенна видна из окна, то на телевизионных экранах могут быть заметны повторные изображения, расположенные слева от основного изображения. Проникновение «левого повторного» сигнала через окна возрастает с увеличением частоты. Для каналов 1—5 среднее ослабление при «входе в здание» составляет в среднем 20 дБ; для каналов 6—12 около 10 дБ. На рис. 55 показан характер распределения напряженности поля в комнате семиэтажного здания, расположенного в 5 км от передающей ТВ станции. Высота приемной антенны была 1,5 м. На графике видны случайно расположенные максимумы и минимумы напряженности поля, обусловленные многократным отражением волн от стен комнаты. Поле внутри помещения неустойчиво, его характер распределения изменяется при входе и выходе из помещения, зависит от перестановки некоторых предметов. В помещении нижних этажей сказывается влияние проходящего городского транспорта.

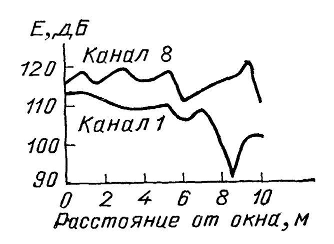


Рис. 55. Напряженность поля в комнате на седьмом этаже здания

Расчет зоны помех. Практика ТВ приема показывает, что в условиях современной городской застройки понижение уровня полезного сигнала на 6...10 дБ уже вызывает появление ложных изображений. Эскиз и расчет зоны помех, где прием ведется с ослаблением 10 дБ, показан на

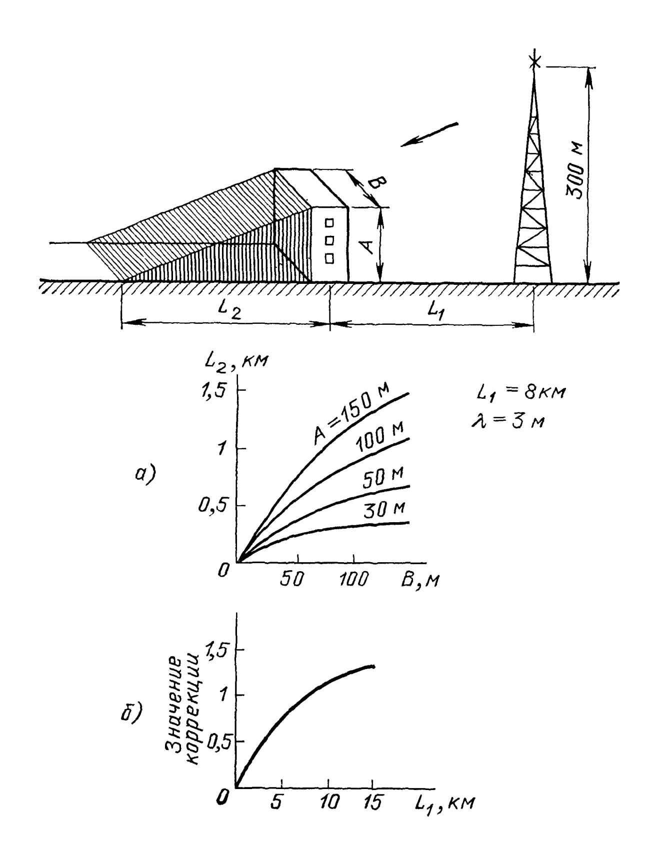


Рис. 56. Графики для расчета зоны помех в тени здания

рис. 56. Длина зоны помех L_2 меняется в зависимости от высоты А и ширины В здания, являющегося экраном для радиоволн. На длину зоны влияют также высота опоры передающей антенны и расстояние до нее L_1.

График на рис. 56,*а* построен для высоты передающей антенны 300 м, расстояния $L_1=8$ км и $\lambda=3$ м. Если расстояние L_1 не равно 8 км, длина зоны помех уточняется по рис. 56,*б*.

Пример. Экранирующее здание имеет высоту $A=50$ м, ширину $B=80$ м. Расстояние между зданием и передающей станцией $L_1=12{,}5$ км, $h_1=300$ м, $\lambda=3$ м. Требуется определить длину зоны помех.

Сначала находим величину L_2, пользуясь графиком рис. 56,*а*. Получаем $L_2=0{,}5$ км. Далее по графику рис. 56,*б* определяем коррекцию. Значение коррекции для $L_1=12{,}5$ км равна примерно 1,25. Следовательно, искомая длина зоны помех $0{,}5\cdot1{,}25=0{,}625$ км. Умножив это значение на ширину здания, получим площадь действия помехи. Для приближенной оценки указанный способ пригоден и для других каналов в диапазоне метровых волн.

Напряженность поля от радиопередающих ТВ станций в условиях города. Ее можно определить только ориентировочно.

При наличии прямой видимости башни передающей станции, на расстояниях не более 30 км, напряженность поля рассчитывается по отражательной

формуле (8). В формулу подставляются значения высоты антенн, отсчитываемые не от земной поверхности, а от площадки, отражающей радиоволну Обычно это крыша здания перед антенной (см. рис. 52).

Когда приемную антенну от прямой видимости закрывает одно здание, то оценка напряженности поля проводится так же, как за одиночным горным хребтом. Если с места установки приемной антенны просматривается только верхушка опоры антенны передающей станции, то можно считать напряженность поля так же, как для свободного пространства [см. формулу (7)], но полученное значение напряженности надо уменьшить в 2 раза.

Для городов, расположенных далеко от передающей станции (30 ... 100 км), напряженность поля оценивается по кривым распространениям МККР. Оценка будет близка к истине, если приемная антенна установлена на крыше 6—7-этажного дома и не затеняется близлежащими домами. При расположении города за холмами или на холмах реальная напряженность поля будет соответственно меньше или больше найденного значения.

При расчете напряженности поля вблизи станции следует проверить — не попадает ли точка приема в зону, где прием осуществляется от боковых лепестков диаграммы направленности передающей антенной. Иначе, следует учесть, что излучаемая мощность в этой зоне уменьшена.

Выбор и установка приемных антенн

Выбор типа и места установки приемной антенны имеет большое значение. Неудачно выбранная антенна, неправильная ее установка сильно влияют на качество изображения даже в самых лучших моделях телевизоров. Главная задача выбора — получить на входе телевизора по возможности большее превышение напряжения полезного сигнала над напряжением шумов, помех, мешающих сигналов от соседних станций и эхосигналов.

При выборе типа антенны следует отдать предпочтение антенне заводского изготовления. Надежность работы таких антенн значительно выше самодельных.

В сельской местности для индивидуального приема владельцы телевизоров часто используют простые многоканальные антенны. Они, конечно, удобны благодаря простоте конструкции, но имеют и недостатки. Из-за незначительного коэффициента усиления и плохой помехозащищенности такие антенны нецелесообразно устанавливать в местах приема, расположенных вблизи границы зоны обслуживания, радиопередающих станций, т. е. там, где напряженность поля находится «на пределе». Малейшая помеха от автотранспорта, радиостанций или от других каких-либо источников будет заметна на экране. Многоканальные простые антенны можно рекомендовать (но не всегда) на расстояниях до (0,6 ... 0,8) $R_п$. В затрудненных условиях приема лучше использовать антенны с коэффициентом усиления 4 ... 5 для ТВ каналов 1—5 и с коэффициентом 8 ... 10 для дециметровых каналов. Применение антенн с более высоким коэффициентом усиления не всегда эффективно, так как на длинных волнах ТВ диапазона многоэлементные сложные антенны получаются громоздкими, на коротких волнах требуется очень тщательное выполнение их конструкции.

Антенны, предназначенные для работы в крупных городах, должны подавлять эхосигналы, иметь хорошее защитное действие по приему обратного и бо-

ковых направлений и возможно более узкий главный лепесток диаграммы направленности в горизонтальной плоскости. При наличии в доме коллективной антенны целесообразно телевизор подключить к ней. С комнатной антенной, служащей для приема телепередач в метровом диапазоне волн, редко удается получить удовлетворительное качество изображения по нескольким каналам и даже по одному каналу. В дециметровом диапазоне антенна, установленная на подоконнике или на балконе, при достаточной напряженности поля может обеспечить довольно хорошее качество изображения.

Во всех случаях для сложных условий приема (слабый сигнал, наличие помех, мешающих сигналов), особенно с вертикальной поляризацией радиоволн, лучше для каждого канала применять свою антенну, настроенную только на него.

В сельской местности необходимо обратить внимание на заземление антенны. Она должна иметь гальваническую связь с землей для защиты от грозовых разрядов и разрядов статического электричества. С этой точки зрения удобны антенны типа волновой канал. В этих антеннах вибраторы соединены со стойкой, которая соединяется с заземлением медным проводом сечением не менее 3...4 мм. Заземление делается, например, из старого оцинкованного ведра, которое закапывают на глубину 1...2 м.

Выбор места для установки приемной антенны целесообразно проводить с подключенным телевизором во время передачи испытательной таблицы. При каждом небольшом изменении положения антенны качество изображения тщательно оценивают по четкости, контрастности и наличию ложных изображений. Очень удобно одновременно контролировать напряжение сигнала с помощью измерительного приемника. У индикатора приемника инерция незначительна, поэтому он успевает отреагировать на небольшие изменения уровня сигнала, которые на телевизионном изображении легко пропустить. Предварительно следует проверить, не возникает ли многоконтурность из-за расстройки контуров усилителей высокой и промежуточной частоты телевизора. При возникновении многоконтурности по этой причине при вращении ручки настройки гетеродина расстояние между ложными изображениями должно изменяться. Вращение ручки настройки гетеродина не будет оказывать никакого влияния на взаимное расположение основного и ложных изображений, если причиной многоконтурности являются эхосигналы. Следует также проверить, не является ли причиной повторных изображений фидерное эхо.

На равнинной местности выбор местоположения антенны сводится к выбору ее высоты. На небольших расстояниях от станции при недостаточном уровне сигнала (например, при приеме от ретранслятора) его можно увеличить установкой антенны в точку максимума напряженности поля. Высота максимума определяется по формуле (2) или по рис. 43. На границе зоны уверенного приема мощных станций установка антенны в точку максимума, напряженности поля, как правило, затруднена, поскольку эта точка находится на небольшой высоте. Исключение составляет прием на высоком берегу моря, но здесь есть опасность попадания антенны в точку минимума напряженности поля. Если антенна не достигает максимума, увеличение ее высоты приводит к пропорциональному увеличению напряженности поля.

Пусть, например, при $h_2 = 10$ м напряженность поля равна 500 мкВ/м. Тогда при $h_2 = 15$ м напряженность поля будет 750 мкВ/м, при $h_2 = 20$ м, — 1000 мкВ/м и т. д. На морских трассах велика вероятность прихода мешаю-

щих сигналов, т. е сигналов от дальних станций, которые мешают приему местной станции Следует иметь в виду, что вероятность этого существенно возрастает с высотой антенны (на суше это выражено в меньшей степени). Иногда для подавления мешающих сигналов для антенны удается найти такое место, где в направлении прихода полезного сигнала местность открыта, а со стороны прихода мешающего сигнала — закрыта (деревьями, скалой, зданием и т. п.).

На равнинной местности прямую видимость можно определить по высоте антенн. По формуле (4) рассчитывается предельное расстояние прямой видимости $R_п$. Прямая видимость имеется, если расстояние от точки приема до передающей станции R будет меньше $R_п$, в противном случае ($R > R_п$) точка приема находится за горизонтом.

На холмистой местности, как и на любой другой, всегда стремятся к установлению прямой видимости В идеальном случае антенну поднимают на высоту, при которой просвет на трассе $H = H_0$. Если $0 \leqslant H \leqslant H_0$ (нуль соответствует касанию линии визирования вершины препятствия), то качество ТВ изображения приема еще может быть достаточно удовлетворительным.

Высоту антенны, при которой достигается прямая видимость (и вообще значение просвета), определяют с помощью профиля трассы (рис. 57). Профиль строится по топографическим картам с последующим уточнением непосредственно на местности. Обычно уточняются расположение и высота отдель-

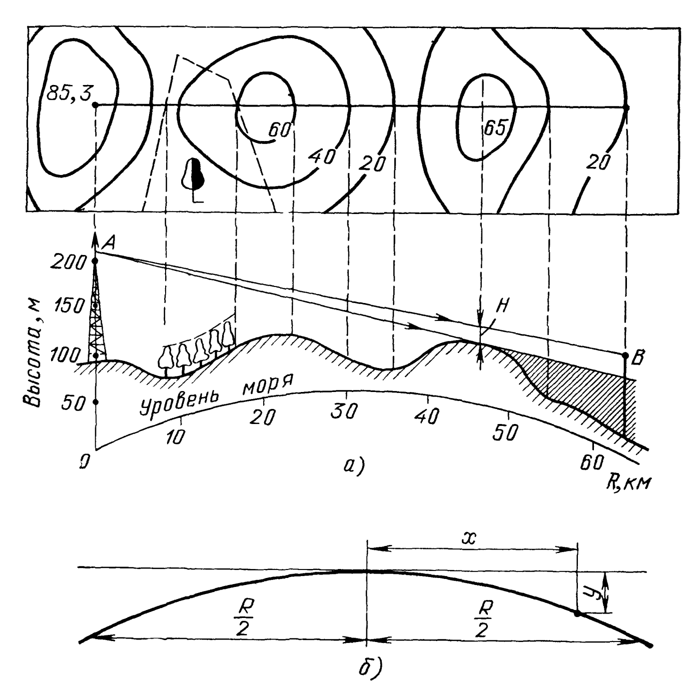


Рис. 57 Принцип построения профиля местности между пунктами передачи и приема:

а — топографическая карта и соответствующий профиль местности, *б* — способ построения кривой, изображающей уровень моря или условный уровень

ных препятствий: леса, зданий и т. п. Так как высоты подъема антенн и рельефа местности несоразмерны по величине с длиной трассы, то при построении профиля применяют разные масштабы по горизонтали и вертикали На рис. 57,*б* показано построение линии кривизны земной поверхности, являющейся основой для построения профиля. Здесь x и y — координаты точки линии кривизны. Задаваясь различными значениями x, км, значение y находят по формуле

$$y = 0{,}059x^2.$$

При $x = 10$ км получаем $y = 5{,}9$ м и т. д. (формула дается для нормальной рефракции). Линия кривизны принимается за линию уровня моря или за линию некоторого начального уровня. От нее откладываются высоты рельефа и местных препятствий.

На холмистой местности зависимость напряженности поля от высоты антенны такая же, как на равнинной местности.

Антенны можно ставить на чердаке, если кровля дома представляет собой диэлектрик (шифер, черепица, дерево).

Особого внимания требует установка антенн, предназначенных для приема волн с вертикальной поляризацией. Диаграмма направленности антенны может быть искажена из-за влияния посторонних предметов (железная крыша, провода и т. п). В этом случае максимум сигнала не совпадает с направлением на станцию. При искажении диаграммы направленности может появиться мешающий сигнал от соседней станции, работающей с другой (отличной от местной станции) поляризацией. При удалении антенны от посторонних предметов влияние мешающего сигнала уменьшается. В большинстве мест приема типовые ТВ антенны уменьшают напряжение мешающих сигналов с противоположной поляризацией в несколько раз Антенна с вертикальными вибраторами больше подвержена воздействию ветра, поэтому крепление ее должно быть более жесткое.

Принцип отстройки от индустриальных помех и мешающих сигналов на холмистой местности не отличается от принципов, используемых в городах

В условиях города, вблизи радиопередающей станции, нередки случаи, когда при исправных телевизоре и антенне качество изображения крайне неудовлетворительное: на экране видны шумы и ложные изображения. Достаточно сместить антенну по высоте вверх или вниз, прием сразу резко улучшается. Оказывается, антенна находилась в минимуме напряженности поля. Из этого следует, что высоту антенны надо обязательно подбирать. Особенно это относится к антеннам дециметрового диапазона. Для того чтобы найти оптимальное положение антенны (оно будет при большем соотношении $E_{пол}/E_э$), на этих волнах обычно требуется перемещение около 0,5 ... 2 м. В том случае, если нет возможности перестраивать антенну по высоте, можно попробовать перенести ее к другому краю крыши по направлению приема сигнала. Когда антенна находится у того края крыши, который ближе к передающей станции, на принимаемое поле оказывает влияние волна, отраженная от поверхности земли. При перестановке антенны сказывается влияние волны, отраженной от крыши. Таким образом, при переносе антенны напряженность поля меняется скачком либо в большую, либо в меньшую сторону. Благоприятные условия часто складываются при установке антенны на краю крыши, который ближе к станции, на небольшой высоте относительно крыши (около 0,5—1λ).

Большую роль играет высота подвеса приемных антенн в тени зданий. Иногда бывает достаточно поднять антенну на 1 . 2 м, чтобы получить заметное улучшение приема. В других случаях приходится поднимать антенну и на бóльшую высоту или на крышу, соседнего, более высокого здания. Признак того, что антенна находится в тени, — относительно слабая напряженность поля в каналах, работающих на более высокой частоте. Очевидно, в этом случае при креплении двух или нескольких антенн к общей мачте целесообразно более коротковолновую антенну устанавливать наверху. При явной прямой видимости на верху мачты желательно устанавливать антенну более длинноволнового канала.

Расстояние между соседними антеннами должно быть не меньше 1,2 м. Например, в одном эксперименте при расстоянии между антеннами 0,9 м прием был неудовлетворителен из-за пониженного уровня сигнала и наличия по-

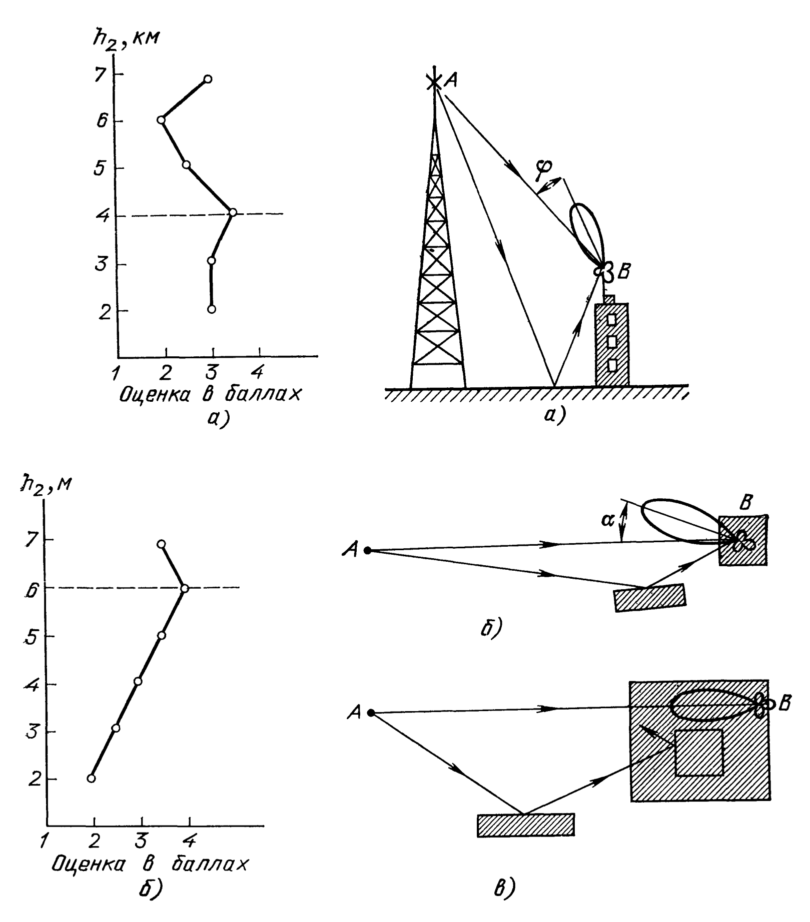


Рис. 58 Изменение качества изображения при подъеме антенны:

а — в канале 3, *б* — в канале 9

Рис. 59 Способы отстройки отраженных сигналов:

а и *б* — вращением антенны *в* — экранировкой лифтовой надстройки на крышке дома

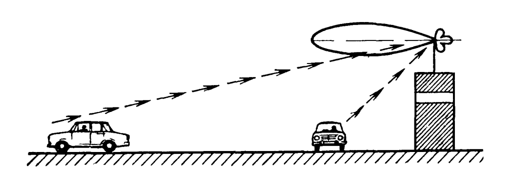


Рис. 60. Воздействие помех от автотранспорта на телевизионный прием

вторных изображений После разнесения антенн на 1,5 м условия приема изменились в лучшую сторону.

На крыше жилых зданий устанавливают порой десятки антенн В такой ситуации антенны желательно разнести друг от друга на расстояние не менее 5 ., 10 м.

При выборе высоты многоканальной антенны для различных каналов иногда требуются неодинаковые высоты Такой случай проиллюстрирован на рис. 58. Наивысшая оценка качества изображения в канале 3 (3,5 балла) при высоте антенны 4 м, а в канале 9 при высоте 6 м Поскольку высота около 4 м оказалась оптимальной для каналов 1—3, а высота 6 м для каналов 2—12, возникла необходимость установить две антенны

В непосредственной близости от передающей станции четкость изображения может быть неудовлетворительной из-за искажения амплитудно-частотной характеристики сигнала, т е вследствие воздействия отраженной от земли волны. Подавить отраженную волну можно поворотом электрической оси приемной антенны вверх на угол φ, равный примерно ширине главного лепестка (рис. 59,*а*). При этом отраженная волна попадает на боковые лепестки приемной антенны. Другой способ заключается в том, что антенна переносится к тому краю крыши, при котором отраженная от поверхности земли волна будет «перекрыта».

Борьба с мешающими сигналами осуществляется по тому же принципу (рис. 59,*б*). Антенну поворачивают от направления на станцию так, чтобы на экране видимость ложных или мешающих сигналов была сведена к минимуму На рис. 59,*в* показан принцип экранирования эхосигнала лифтовой надстройкой на крыше здания.

Борьба с промышленными помехами в принципе не отличается от борьбы с мешающими сигналами При выборе места установки антенны вблизи улицы с интенсивным движением автотранспорта иногда лучше переместить антенну ближе к улице В этом случае помехи от автомобилей попадают в антенну под большим углом и совпадают с «нулевой» зоной ее диаграммы направленности в вертикальной плоскости При ориентировке антенны вдоль улицы помехи попадают в антенну при удалении автомобиля (рис 60)

ДАЛЬНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Дальний прием — это прием за пределами прямой видимости. Отдельные случаи, когда радиосвязь на УКВ осуществлялась на расстояниях, значительно превышающих расстояние прямой видимости, были известны еще в начале 30-годов. Благодаря последующему развитию радиотехники (появлению мощных передатчиков и высокочувствительных приемников), такие факты

стали более часты Начиная с 1950 г телезрители стали замечать, что во время приема местных программ телевидения на экране иногда появляются сигналы ТВ станций, удаленных на сотни и тысячи километров Вероятно, этот факт был связан с интенсивным развитием сети мощных ТВ станций во многих странах Европы, включая Советский Союз. В радиолюбительских журналах того времени стали появляться сообщения о приеме Пражского телевизионного центра в городах Угличе и Рязани, о приеме Московского телевизионного центра в Чехословакии, Голландии и т. д. В результате многочисленных исследований во многих странах было установлено, что условия дальнего приема УКВ неодинаковы и обусловлены различными механизмами распространения. В области «полутени», т е. на расстояниях примерно 20 . 30 км за границей прямой видимости, прием сигналов происходит за счет дифракции радиоволн вокруг Земли. При дальнем распространении сигналов на расстояниях примерно 150 1000 км, основную роль играет тропосфера Сверхдальнее распространение, на расстояниях свыше 1000 км, вызвано переизлучением радиоволн более высокими ионизированными слоями атмосферы (рис 61).

Характерный признак дальних сигналов — это наличие медленных и быстрых замираний. Уже на границе прямой видимости можно заметить, что напряжение сигнала плавно изменяется от часа к часу, ото дня ко дню, в зависимости от метеорологических условий — это *медленные замирания.* К медленным замираниям относят и сезонные колебания сигнала.

Под *быстрыми замираниями* обычно понимают колебания уровня сигнала, период которых меньше часа По мере удаления точки приема из зоны прямой видимости в зону тени, глубина медленных замираний возрастает и остается примерно постоянной (±20 дБ) Это приводит к тому, что прием за горизонтом становится неуверенным или, иначе, нерегулярным.

В зоне полутени с соответствующей приемной техникой иногда еще удается принимать телевизионные программы с пониженным качеством Что касается больших расстояний, то прием телевидения здесь бывает только случайным (в короткие периоды). Прохождение ТВ сигналов наступает вследствие

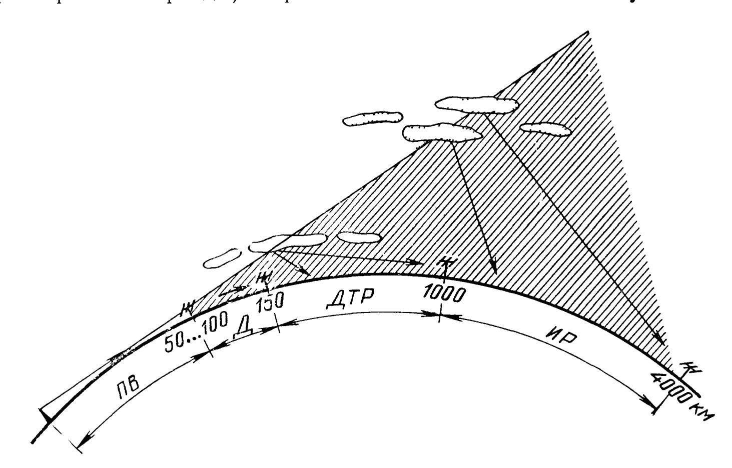


Рис. 61. Дальнее распространение УКВ:

ПВ — зона приема в условиях прямой видимости, Д — зона приема, обусловленная дифракцией вокруг Земли (область полутени), ДТР — зона приема вследствие дальнего тропосферного распространения, ИР — зона приема вследствие ионосферного распространения

случайного возникновения в атмосфере особо благоприятных условий. Когда они исчезают, напряжение сигнала падает в тысячи и более раз. Восстановить прежний уровень сигнала какими-либо техническими усовершенствованиями практически невозможно. Применение эффективных высокоподнятых антенн и высокочувствительного приемного устройства позволяет несколько продлить время приема, но не дает гарантии получить нормальный регулярный прием. Дальний прием телевизионных передач для местных телевизионных передач является серьезной помехой.

Прием вблизи границы прямой видимости

Характер зависимости напряженности поля от расстояния при переходе через границу прямой видимости заметно меняется, для неровной земной поверхности это показано на рис. 62, для гладкой — см. рис. 42. На рис. 62 показаны результаты измерений напряженности поля на двух волнах, близких к средней длине волны ТВ каналов 5 и 36 на различном расстоянии от передающей станции. Из рисунков видно, что как при гладкой, так и негладкой земной поверхности при переходе через границу зависимость напряженности поля от частоты меняет свой знак. До границы бо́льшая напряженность поля будет на более короткой волне, за границей — на более длинной волне. На расстоянии всего нескольких километров от границы напряженность поля резко уменьшается. В тени гладкой земной поверхности убывание напряженности поля происходит резче, чем за каким-либо отдельным холмом, ограничивающим прямую видимость.

Поляризация радиоволн также оказывает влияние на уровень сигнала. Если распространение происходит над ровной земной поверхностью или над морем, вертикальная поляризация обусловливает бо́льшую напряженность поля по сравнению с горизонтальной поляризацией. При распространении радиоволн над местностью, покрытой хвойными лесами, картина может быть обратной, поскольку деревья имеют способность сильнее рассеивать вертикально поляризованные волны.

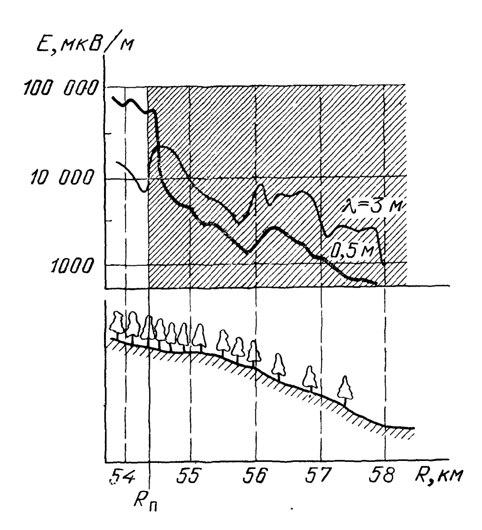


Рис. 62. Характер изменения напряженности поля в переходе через границу прямой видимости ($P=1$ кВт; $h_1=100$ м; $h_2=10$ м)

Изменение уровня сигнала во времени (замирания) объясняется изменением рефракции радиоволн. При повышенной рефракции антенна может оказаться в пределах прямой видимости и напряженность поля возрастет. При отрицательной рефракции наблюдается обратная картина — точка приема фактически удаляется от границы прямой видимости и напряженность поля уменьшается. Возрастание напряженности поля сигнала наблюдается, как правило, при антициклоне, т. е. при вы-

соком атмосферном давлении. Как зимой, так и летом антициклонам часто сопутствует ясная безоблачная погода без осадков и ветра. В районе антициклона происходит оседание (сжатие) воздушных масс, что приводит к их нагреванию и образованию температурной инверсии, когда температура с высотой не уменьшается, как обычно, а возрастает. При этом наибольшие уровни сигналов наблюдаются в течение всего периода хорошей погоды, но они часто неустойчивы. С наступлением пасмурных, особенно дождливых дней, напряженность поля сигнала уменьшается в несколько раз, но становится стабильной.

Для примера на рис. 47 были приведены кривые, показывающие изменение напряженности поля в течение суток при хорошей погоде в области «полутени» на расстоянии 100 км от радиопередающей ТВ станции (высота антенн станции 400...520 м, высота приемных антенн — 30 м). В данном эксперименте наблюдались и сезонные колебания напряженности поля. В январе и феврале напряженность поля была выше, чем в июне — июле примерно в 2 раза. Это можно объяснить влиянием леса, который был преградой для радиоволн в нескольких километрах от точки приема. В безлесной местности и на морских трассах наибольшие сигналы наблюдаются летом. Напряженность поля в это время возрастает в 2—3 раза.

В области полутени иногда наблюдается обратная зависимость напряжения сигнала от частоты. Например, от Общесоюзной радиопередающей ТВ станции на расстоянии около 100 км часто бывает так, что прием телепередачи в канале 8 возможен, а в каналах 1 и 3 не получается из-за недостаточного уровня сигнала. Причина этого в том, что передающая антенна канала 8 имеет коэффициент усиления больший, чем у антенн каналов 1 и 3. Кроме того, она находится выше этих антенн.

Напряженность поля в зоне полутени можно оценить по кривым распространения МККР (см. рис. 48 и 49). В предыдущей главе было сказано, как с помощью кривых рассчитывается среднегодовое значение напряженности поля в точке приема, т. е. для 50% времени года. Значение напряженности поля в 90 % времени года будет меньше рассчитанного примерно в 2,5 раза; в 99 % времени — в 5 раз. Например, пусть расчет с помощью кривых МККР дает напряженность поля в точке приема 600 мкВ/м. Это означает, что в 50% времени года, т. е. в течение $0{,}5 \cdot 360 = 180$ дней (не обязательно подряд) напряженность поля будет выше или равна 600 мкВ/м. В 90% времени, т. е. в течение $0{,}9 \cdot 360 = 324$ дня, напряженность поля будет выше или равна $600/2{,}5 = 240$ мкВ/м. В 99% времени, т. е. примерно в течение 356 дней, напряженность поля будет больше или равна $600/5 = 120$ мкВ/м.

Высота подъема антенны телевизора играет большую роль при приеме в зоне полутени. Увеличение высоты подвеса антенны — сравнительно простой способ обеспечить ТВ прием. Можно считать, что напряженность поля возрастает во столько раз, во сколько раз увеличивается высота подвеса антенны. При очень большой высоте, при которой антенна находится в области прямой видимости, эта закономерность нарушается. Над гладкой земной поверхностью антенна может попасть в интерференционный минимум или максимум (см. рис. 43). В частном случае, приведенном на рис. 63, видно, что первый максимум напряженности поля для $\lambda = 0{,}5$ м находится на высоте около 130 м. Для $\lambda = 5$ м первый максимум находится гораздо выше, поэтому напряженность поля на этой волне с высотой возрастает медленнее.

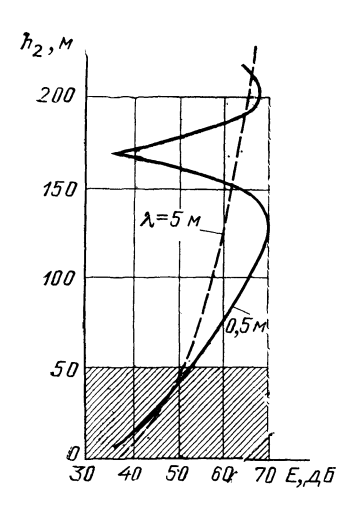


Рис. 63. Характер увеличения напряженности поля при подъеме приемной антенны в зоне дифракции (горизонтальная поляризация, P=1 кВт; R=100 км; h_1=300 м)

Маловероятно, что подъем антенны даст желаемый результат, если при высоте антенны 10 м изображение полностью отсутствует. Антенну имеет смысл поднимать только тогда, когда изображение просматривается, но уровень сигнала недостаточен.

Для установки антенн наиболее благоприятны возвышенные точки местности с открытым передним планом.

Устойчивость приема определяется процентом времени года T, в течение которого возможен удовлетворительный прием. В точках приема, расположенных в области прямой видимости, устойчивость близка 100%. Уже на границе этой области, и тем более в области полутени и тени, устойчивость уменьшается из-за появления замираний уровня сигнала, т. е. из-за падения напряженности поля ниже требуемого для нормальной работы телевизионного приемника. Устойчивость приема должна составлять не менее 90% времени. В остальные 10 % времени (36 дней) прием не всегда полностью исключается — он может быть, но с пониженным качеством.

Ориентировочный расчет устойчивости несложен. Для этого надо определить минимальную напряженность поля, необходимую для удовлетворительной работы телевизора с антенной, и напряженность поля, которая превышается в заданном проценте времени. Если напряженность поля, превышаемая, например, в 90 % времени, равна или больше минимально необходимой для телевизора напряженности, то устойчивость приема равна или больше 90 %. Если напряженность поля, превышаемая в 99 % времени, равна или больше минимально необходимой напряженности, то устойчивость равна или больше 99 % и т. д.

Например, для работы требуется напряженность поля $E_{мин}$=300 мкВ. Напряженность поля, превышаемая в 90 % времени, $E \geqslant 330$ мкВ/м. Так как $E \geqslant E_{мин}$, то T=90 %.

Строгий расчет устойчивости затруднен многими факторами: воздействием мешающих сигналов от соседних радиопередающих станций и промышленных помех, влиянием климата и т. д. Устойчивость приема в ряде случаев определяют измерением полезного и мешающих сигналов. Но это не просто, так как для учета медленных замираний нужны длительные измерения. Кратковременные измерения могут ввести только в заблуждение. Известны случаи, когда в зоне полутени по результатам кратковременных измерений выбирался пункт для расположения маломощного ТВ ретранслятора, но по истечении некоторого времени ретранслятор фактически не мог работать.

Зависимость устойчивости ТВ приема T от расстояния для одного частного случая проиллюстрирована на рис. 66. Зависимость построена для мощной

радиопередающей ТВ станции при условии, что минимально необходимая напряженность поля равна 300 мкВ/м. Нетрудно видеть, что устойчивость приема резко уменьшается с расстоянием, особенно над сушей. Устойчивость приема около 90 % получается вблизи границы прямой видимости. Для того чтобы получить такую устойчивость за границей прямой видимости, в области полутени, приходится применять антенну, коэффициент усиления которой превышает коэффициент усиления обычной типовой антенны, и поднимать ее выше 10 м. Из рис. 66 видно, что на расстояниях свыше примерно 150 км прием возможен только в отдельные дни, причем на морских трассах гораздо чаще, чем на сухопутных.

Тропосферное распространение сигналов

Основная причина дальнего распространения УКВ на расстояния 150 ... 1000 км — переизлучение радиоволн на неоднородностях тропосферы. Идеализируя в действительности гораздо более сложную структуру, можно представить неоднородности тропосферы как «изолированные» объемы воздуха. В неоднородностях содержится более теплый или более влажный воздух, поэтому по диэлектрической проницаемости они отличаются от окружающего воздуха. Неоднородности образуются как следствие неравномерного нагревания земной поверхности. Восходящие и нисходящие потоки воздуха под действием ветра разбиваются на вихри (объемы) самых различных размеров. Средний размер неоднородностей составляет 30 .... 50 м.

Под действием сил тяжести неоднородности часто принимают вид слоя. Так, инверсия температуры на некоторой высоте представляет собой слоистую неоднородность. Температурная инверсия образуется обычно после захода Солнца, когда земная поверхность и прилегающий к ней воздух охлаждается. Температура же лежащих выше слоев может оказаться на несколько градусов больше. Толщина слоистых неоднородностей достигает нескольких сот метров, а протяженность по горизонтали — нескольких километров. Яркий пример видимых неоднородностей — обычные облака. Но и невидимые неоднородности иногда можно увидеть, если они находятся на небольшой высоте и стоит безветренная погода. Например, вертикальный столб дыма от заводских труб, наталкиваясь на слоистую неоднородность, растекается под ней горизонтально.

Зависимость диэлектрической проницаемости воздуха от высоты снимается с помощью специальных приборов — радиорефрактометров, установленных на борту аэростата. Если тропосфера состоит из мелкомасштабных неоднородностей, на графике зависимости отмечается множество мелких беспорядочных «зубчиков». Наличие слоев видно по существенному отклонению ε от монотонного хода (рис. 64).

Под действием излучения, создаваемого передающей антенной, каждая неоднородность превращается во вторичный излучатель, вызывая рассеяние или отражение радиоволн. В переизлучении участвуют только те неоднородности, которые попадают в объем, образуемый пересечением диаграмм направленности передающей и приемной антенн. Рассеяние радиоволн создают в основном мелкомасштабные неоднородности, зеркальное отражение — слоистые не-

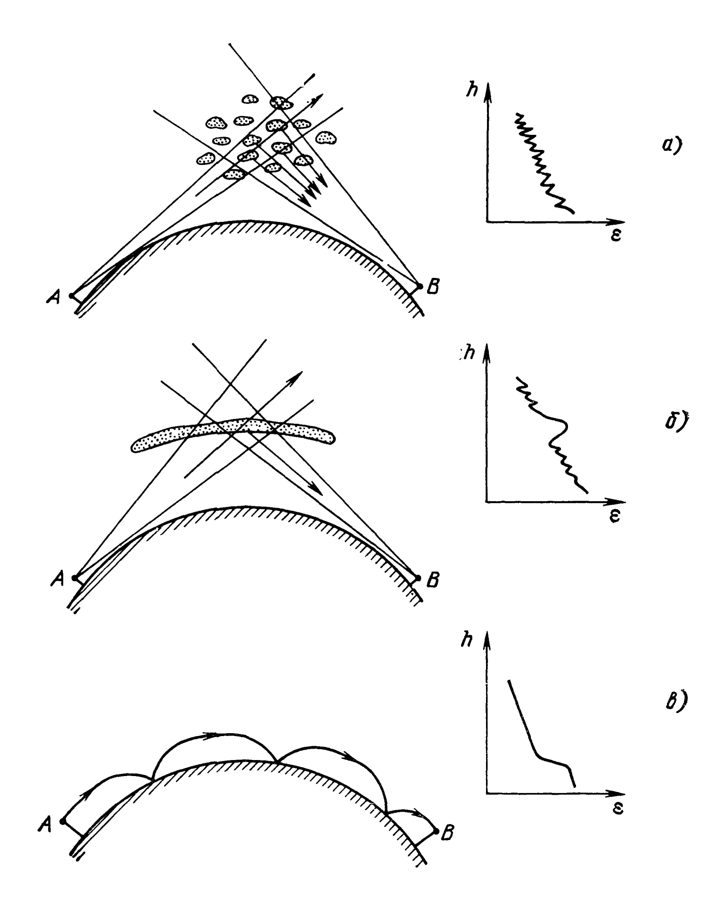


Рис. 64. Механизмы дальнего тропосферного распространения УКВ:
а — рассеяние; б — отражение от слоя; в — волноводное распространение

однородности. Часто оба эти механизма действуют одновременно. Независимо от того, какой из них продолжительней, в область тени переизлучается очень маленькая доля излученной энергии. Значительная доля энергии проходит через толщу атмосферы, теряясь в космическом пространстве.

Дальнее распространение УКВ над морем возникает иногда вследствие сверхрефракции. В некоторых случаях перепад диэлектрической проницаемости воздуха оказывается больше, чем при обычном состоянии. Волны при таком сильном перепаде преломляются к поверхности Земли, отражаются от нее, снова преломляются и т. д. (см. рис. 64,*в*). Это называется *сверхрефракцией* или распространением в условиях образования «атмосферного волновода». Верхняя граница волновода расположена на высоте точек поворота волн, а нижней границей является морская поверхность. Волновод может быть и приподнятым. В этом случае волна распространяется как бы в «трубе». Волновод-

ные условия распространения возникают главным образом над теплыми морями. Возможности появления волноводного распространения над сушей гораздо меньше, так как при этом сильно сказывается влияние рельефа местности, нарушающего однородность строения тропосферы, в горизонтальном направлении. Возникновение волноводного распространения, как и слоев, связано с хорошей, ясной и устойчивой погодой. При холодной, ветреной, дождливой и облачной погоде нижние слои воздуха хорошо перемешаны и условия распространения обычно являются нормальными. Волноводное распространение чаще всего наблюдается в диапазоне дециметровых волн. Это явление в технике практически не используется из-за малой вероятности его появления, но оно является важной причиной возникновения помех со стороны дальних ТВ станций.

Замирания сигнала — основной признак дальнего тропосферного распространения. В точке приема всегда, с той или иной длительностью, наблюдаются замирания сигнала. Быстрые замирания сигнала (в пределах часа) обусловлены интерференционным взаимодействием волн, создаваемых отдельными неоднородностями, совершающими движение и изменяющимися по своим размерам. Медленные, в течение нескольких часов и суток, — связаны с образованием и разрушением слоев, с изменением условий рефракции. Типичный характер записи уровня напряженности поля в летний ясный день показан на рис. 65. Из графика видно, что в ночные и вечерние часы уровень сигнала и длительность замираний больше, чем в дневные часы. В ночные и вечерние часы уровень сигнала возрастает из-за отражения от слоистых неоднородностей и повышения рефракции. Днем Солнце нагревает земную поверхность, и восходящие потоки воздуха разрушают слоистые образования. В пасмурные дни суточные колебания уровня сигнала стираются; абсолютное значение уровня сигнала падает, но стабильно держится на низком уровне. Уровень принимаемого сигнала при тропосферном распространении изменяется не только в течение суток, но и в течение года. Наибольшие сигналы зарегистрированы в летние месяцы. Летом средняя напряженность поля выше в 2—3 раза, чем зимой.

Условия для телевизионного приема при дальнем тропосферном распространении возникают только в некоторые периоды, продолжительность которых меняется в широких пределах — от нескольких минут до нескольких дней. Такие периоды связаны с аномальным (необычным) распространением сигнала. В обычных условиях происходит рассеяние радиоволн на неоднородностях воздуха и поэтому наблюдаются слабые сигналы. Аномальное распространение возни-

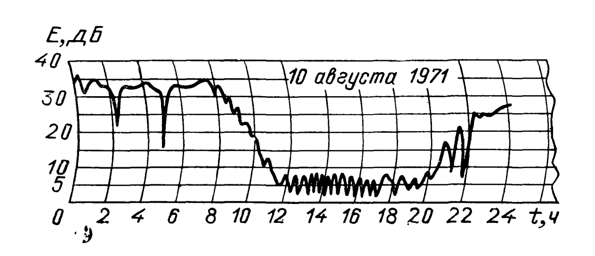


Рис. 65. Образец записи напряженности поля на расстоянии 200 км от передающей ТВ станции ($\lambda=3$ м; $h_2=10$ м)

кает при отражении волн от слоев с резким перепадом коэффициента преломления и при атмосферных волноводах. При отражении радиоволн от слоя атмосферы дальность распространения зависит от его высоты. Чем выше находится слой, тем на большее расстояние отражаются от него радиоволны. Например, от слоя, расположенного на высоте 1 км, волны отражаются в точку, удаленную от места передачи на 300 км. Мощные слои в тропосфере редко появляются на высотах выше 3 ... 4 км, поэтому распространение ТВ сигналов практически не наблюдается на расстояниях свыше 400 ... 600 км.

Из графиков распространения МККР (см. рис. 48 и 49) можно видеть, что влияние высоты передающей антенны на уровень сигнала на больших расстояниях невелико. То же самое можно сказать о приемной антенне при приеме над сушей. При приеме сигнала, распространяемого над морем, напряженность поля сильно зависит от высоты приемной антенны. Для дальнего тропосферного приема важно наличие открытого переднего плана перед антенной. Бо́льший сигнал получается на возвышенности, с которой далеко виден горизонт.

На холмистой местности, на расстоянии около 150 км от передающей станции, устойчивый ТВ прием получается в течение примерно 10 % времени. Если распространение радиоволн происходит над морем или над берегом, над ровной земной поверхностью число благоприятных для приема дней может быть намного больше. Это видно, например, из рис. 66.

Известны факты вполне удовлетворительного, но нерегулярного приема телепередач на расстояниях 150 ... 300 км. Так, эстонские радиолюбители часто принимают телепередачи из Финляндии и Швеции. На побережье Черного моря радиолюбителям нередко удается видеть передачи ТВ станций Турции и Болгарии. Следует иметь в виду, что в некоторых странах используются ТВ каналы, в которых частоты сигналов изображения и звука не совпадают со стандартом, используемом в Советском Союзе. В таких случаях в обычных телевизорах требуется некоторая переделка схемы. Иначе, можно принять либо одно изображение, либо одно звуковое сопровождение.

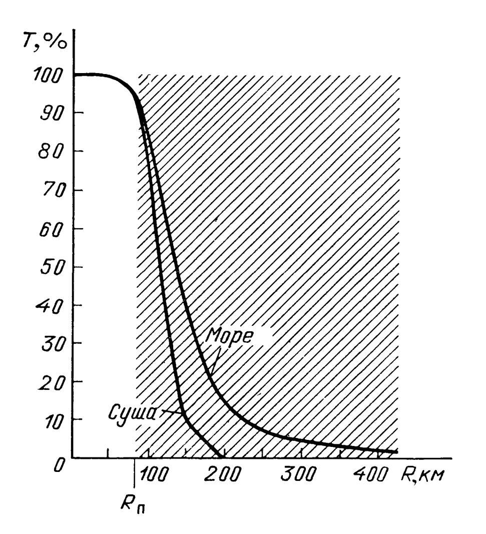


Рис. 66. Процент времени приема телепередач в ТВ каналах 1—3 на различном расстоянии от передающей станции (P=270 кВт; h_1=300 м, h_2=10 м)

Часто возникает вопрос — как подавить мешающие сигналы, обусловленные дальним тропосферным распространением? Например, сигналы от ТВ станций Турции иногда мешают приему местной станции г. Сочи (каналы 1 и 10). Способы борьбы с мешающим сигналом здесь такие же, как было сказано ранее. Один из них: поставить антенну так, чтобы в направлении прихода ме-

шающего сигнала она закрывалась каким-либо препятствием, а в направлении прихода полезного сигнала местность была открытой. Угол закрытия антенны (угол между горизонтальной линией и вершиной препятствия), равный 1°, уменьшает напряженность поля примерно в 3 раза, угол 2° — в 6 раз.

Ионосферное распространение сигналов

Ионосфера — это часть атмосферы, состоящая из нескольких слоев ионизированного разряженного воздуха, расположенных на высоте от 60 км и выше над поверхностью Земли. Слои по мере их возвышения над Землей обозначаются буквами D, E, F_1, F_2. Ионизация, т. е. расщепление молекул газов на положительные ионы и свободные электроны, возникает главным образом под действием ультрафиолетового излучения Солнца. Степень ионизации определяется числом свободных электронов в 1 $см^3$. Ионизация возрастает с высотой и зависит от времени суток. Днем степень ионизации выше, ночью слабее. Ионизация всех слоев в атмосфере увеличивается в периоды повышенной солнечной активности. В наибольшей мере это проявляется на внешнем наиболее ионизированном слое F_2. Кроме изменения степени ионизации меняются и высоты слоев в разное время суток и года.

Отражение радиоволн от ионосферы. Атмосфера при наличии в ней свободных электронов приобретает свойства полупроводника, от которого могут отражаться радиоволны длиннее 10 м. Для волн короче 10 м ионосфера значительную часть времени прозрачна. Такие волны проходят через нее, теряясь в глубинах межпланетного пространства. Вместе с тем еще во второй половине 30-х годов были зарегистрированы случаи отражения от ионосферы волны длиной около 5 м. Как оказалось, отражение было вызвано двумя причинами: при появлении спорадического (т. е. возникающего время от времени) слоя E_S и при повышении электронной концентрации слоя F_2 в годы максимума солнечной активности.

Слой E_S представляет собой электронное облако, которое образуется на высоте слоя E (100 ... 120 км). Вследствие значительной ионизации от него порой отражаются ТВ сигналы на волнах каналов 1—3. Граница зоны приема волн, переизлученных слоем E_S, начинается на расстоянии примерно 1000 км от передатчика и оканчивается на 2500 км. Чаще всего прием наблюдается днем в летние месяцы. В вечерние часы он бывает реже и менее регулярно. Прием от слоя E_S вследствие отражения происходит преимущественно с южных направлений, где он более продолжительный. В летние месяцы электронная плотность слоя E_S может быть настолько высокой, что сигналы дальних станций могут полностью вытеснить сигналы местных, даже при комнатной антенне. Прием ТВ изображения возможен только при полном зеркальном отражении радиоволны от слоя E_S. Спорадическое электронное облако имеет небольшие размеры, поэтому обычно принимается только одна станция. Вследствие перемещения облака через некоторое время отмечается прием другой станции (если вращать приемную антенну). Продолжительность наблюдения благодаря отражению от слоя E_S бывает различной, от нескольких минут до нескольких часов. Например, в Московской области наблюдался прием из Праги (расстояние 1800 км), на Украине — из Италии, Дании, Швейцарии, в Прибалтике «проскальзывают» передачи из Парижа и Лондона.

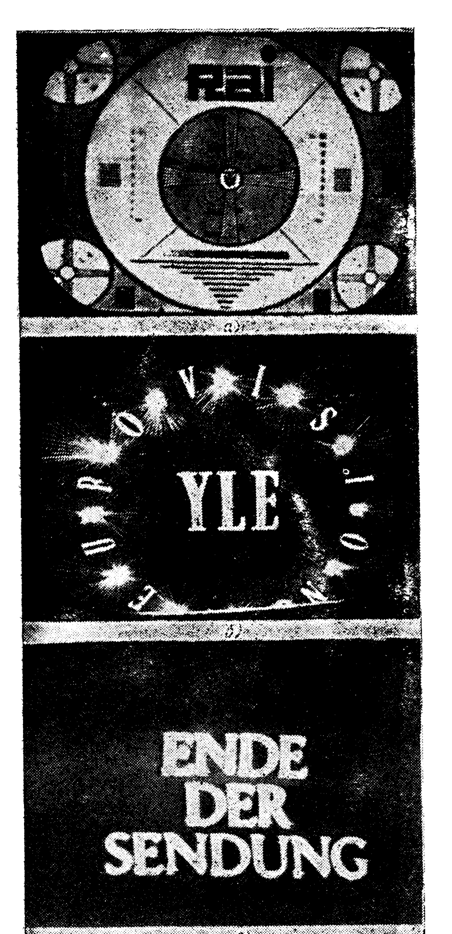


Рис. 67. Фотографии изображений с экрана телевизора в Подмосковье при дальнем ионосферном распространении:
а и *б* — прием передающей станции из Рима; *в* — из ГДР

Фотография ТВ изображений, принятых при сверхдальнем ионосферном распределении, даны на рис. 67.

С целью получения статистических характеристик сверхдальнего ТВ приема в Воронежском государственном университете в 1980—1982 гг.; ежедневно с 8 до 24 ч в период с мая по август проводились специальные измерения. Приемные антенны были ориентированы на запад, что позволило зарегистрировать более тысячи случаев распространения сигналов через слой E_S от более 30 западноевропейских радиопередающих ТВ станций. Наибольшее число случаев было на трассе Братислава — Воронеж. Суммарное время приема в течение суток составило примерно 6 ч в канале 1, в канале 2—2,5 ч и менее часа в канале 3. Длительность непрерывного сеанса приема в канале 1 около 40 мин, в канале 2 около 10 мин.

Слой F_2 расположен на высоте свыше 200 км над поверхностью Земли, т. е. выше, чем слой E_S. По этой причине прием отраженных от него волн отмечается на более длинных расстояниях: 2000 ... 4000 км. Прохождение волн, обусловленное слоем F_2, обычно отмечается днем в зимние месяцы, в годы максимума солнечной активности. Максимумы солнечной активности отмечаются приблизительно через 11 лет и совпадают с появлением большего числа пятен на Солнце. Последний максимум был зарегистрирован в 1979—1980 гг.

Отражение от области полярных сияний. Оно наблюдается в диапазоне метровых радиоволн. Распространение радиоволн, отраженных от области полярных сияний, называют *авроральным*. Полагают, что отражение (рассеяние) происходит на неоднородностях электронной плотности полярного сияния. Электронная плотность в этих неоднородностях хотя и незначительно, но отличается от электронной плотности окружающей среды. По форме неоднородности представляют собой цилиндры, вытянутые в направлении магнитного поля Земли. Отражение происходит как бы от решетки, состоящей из полос ионизированного газа.

Полярные сияния чаще происходят в высоких широтах. Установлено, что зона максимума сияний находится на широте, удаленной на 23^0 от магнит-

ного полюса. Вспышки на Солнце и другие проявления солнечной активности образуют корпускулярные потоки (солнечный ветер). Эти потоки, приближаясь к Земле, могут проникнуть в верхние слои атмосферы только через полярные области. Силовые линии магнитного поля Земли являются своего рода экраном для корпускулярных потоков, но у полюсов линии сходятся, что позволяет потокам пройти к Земле.

Полярные сияния возникают, когда солнечные протоны и электроны сталкиваются с атомами и молекулами верхних слоев земной атмосферы. Если в северном полушарии в районе, где наблюдаются полярные сияния, передающую и приемную антенны направлять на север, то при появлении полярных сияний возможна радиосвязь. Полярное сияние позволяет радиолюбителям-ультракоротковолновикам проводить сеансы связи на значительные расстояния: Москва — Сыктывкар, Москва — Хельсинки и т. д. Радиолюбители используют диапазон частот 144 ... 146 МГц, а в ряде случаев 430 МГц. Для приема ТВ сигналов между передающей станцией и полярным сиянием и от полярного сияния до пункта приема должна быть прямая видимость. Ее легко определить по формуле (4) учитывая, что нижняя граница полярных сияний расположена на высоте 80 ... 110 км, а верхняя — на высоте 140 ... 160 км, но иногда достигает и 700 ... 800 км.

Отражение радиоволн от метеорных следов. Помимо отражения от ионизированных слоев волны короче 10 м иногда отражаются от метеорных следов. В атмосферу Земли влетает огромное количество космической пыли-метеоров, которые при сгорании в атмосфере оставляют за собой след из ионизированных частиц. Если ионизация такого следа достаточна для отражения и он ориентирован в пространстве так, что волны попадают в место приема, то наблюдается вспышка сигнала продолжительностью в несколько секунд. Наиболее часто это явление бывает летом, когда Земля проходит через область интенсивных метеорных потоков. Вероятно, потоки метеорных следов могут явиться причиной появления мешающих ТВ сигналов на частотах 30 ... 80 МГц.

Дальнее распространение в горах

В условиях гористой местности благодаря эффекту усиления клиновидными препятствиями имеется возможность приема телепередач на расстояниях, значительно превышающих расстояние прямой видимости.

Эффект усиления клиновидными препятствиями состоит в том, что на закрытых трассах, протяженность которых превышает дальность прямой видимости, напряженность поля оказывается в десятки и сотни раз больше, чем на трассе над гладкой земной поверхностью такой же протяженности. Для объяснения этого эффекта на рис. 68 показаны две закрытые трассы одинаковой длины. Различие между ними в том, что на одной трассе препятствием является гладкая сферическая поверхность Земли, а на другой — клиновидный горный хребет. На трассе с горным хребтом напряженность поля может быть в десятки и сотни раз больше, чем при распространении над гладкой земной поверхностью. Это объясняется тем, что при дифракции радиоволн над гладкой земной поверхностью они проходят в непосредственной близости от земли и поглощаются ею. На трассе с горным хребтом путь радиоволн проходит выше земной поверхности. Ослабление происходит только при дифракционном огибании вершины хребта. Напряженность принимаемого поля может дополнительно возрастать вследствие интерференционного сложения прямой волны и

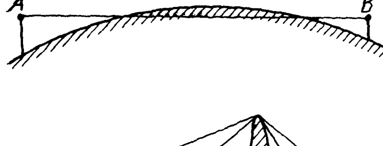


Рис. 68. Усиление клиновидным препятствием:

(вверху показано дифракционное распространение УКВ вокруг Земли, внизу — распространение на трассе такой же длины, но с препятствием)

отраженной от земли как до препятствия в 2 раза, так и после него еще в 2 раза. В результате только благодаря интерференции напряженность поля может возрасти в 4 раза (на 12 дБ).

Количественная оценка рассматриваемого эффекта показана на рис. 69, где сравнивается ослабление напряженности поля V для сферической Земли (кривая 1) и для идеального непрозрачного клина (кривая 2). Кривая 3 показывает ослабление на реальных одиночных хребтах клиновидной формы по результатам многочисленных измерений (СССР, Япония). Ослабление напряженности поля дано по отношению к напряженности E_0, которая была бы при отсутствии препятствия, т. е. в условиях свободного пространства. По оси абсцисс отложено отношение фактического просвета на трассе H к просвету H_0 (при котором $E = E_0$). Из графика видно, что при наличии прямой видимости ($H = H_0$) ослабление на том и другом препятствии отсутствует ($V = 0$). При касании линии визирования вершины клина ($H = 0$) ослабление равно минус 6 дБ, а вершины земной сферы — минус 24 дБ. При дальнейшем переходе в более глубокую тень различие в ослаблении увеличивается. В тени сферического препятствия напряженность поля оказывается на десятки децибел ниже, чем в тени клина.

Условия ТВ приема наиболее благоприятно складываются в тех случаях, когда на трассе имеется одно препятствие клинообразной формы и на вершину препятствия обеспечивается прямая видимость с пунктов передачи и приема. Условия приема улучшаются, если препятствие окажется на середине трассы. При стечении благоприятных условий дальность ТВ приема может достигать 150 км и более. Но реально встречающиеся горные трассы имеют весьма сложный профиль. На них может оказаться два или несколько хребтов, уда-

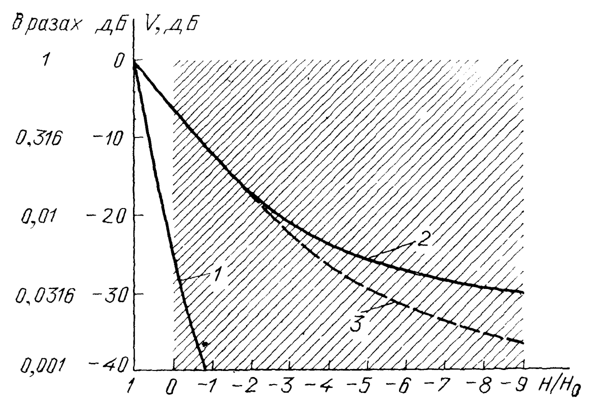


Рис. 69. Графики, показывающие ослабление радиоволн от степени закрытия на трассе

ленных друг от друга на десятки километров. Вероятность приема существует и в таком случае.

Условия приема затрудняются из-за наличия замираний уровня сигнала. Замирания связаны с изменением рефракции радиоволн, т. е. с изменением на трассе метеоусловий. В летнее время глубина замираний обычно больше, чем зимой. Она медленно изменяется от часа к часу, ото дня ко дню. Наблюдаются и быстрые замирания с периодом, в пределах 1 ... 60 с. Особенно заметны замирания, когда на дифракционное поле накладывается поле, обусловленное дальним тропосферным или ионосферным распространением.

Другая трудность приема — мешающее действие дальних радиопередающих ТВ станций. В основном они проявляются летом в ТВ каналах 1 и 2. В периоды хорошего прохождения радиоволн нередко принимаются несколько станций, удаленных от точки приема на 1000 ... 2000 км. В некоторых случаях влияние мешающих сигналов удается уменьшить, используя высоконаправленные антенны.

Выбор места установки приемной антенны производят опытным путем. Картина расположения интерференционных максимумов и минимумов напряженности поля по высоте такова, какую создавал бы передатчик, помещенный на вершине горы. Высоту ближайшего к земле максимума можно рассчитать по формуле (2). Иногда его высота оказывается ниже крыши одноэтажного дома, и антенну приходится ставить на шест рядом с домом. Наряду с волнами, отраженными от земной поверхности, могут быть волны, отраженные от соседних хребтов. Многолучевость, естественно, приводит к случайному распределению поля в пространстве. В поисках лучшего места антенну приходится переносить на десятки и даже сотни метров. В горах при дифракции или отражении радиоволн может частично или полностью измениться первоначаль-

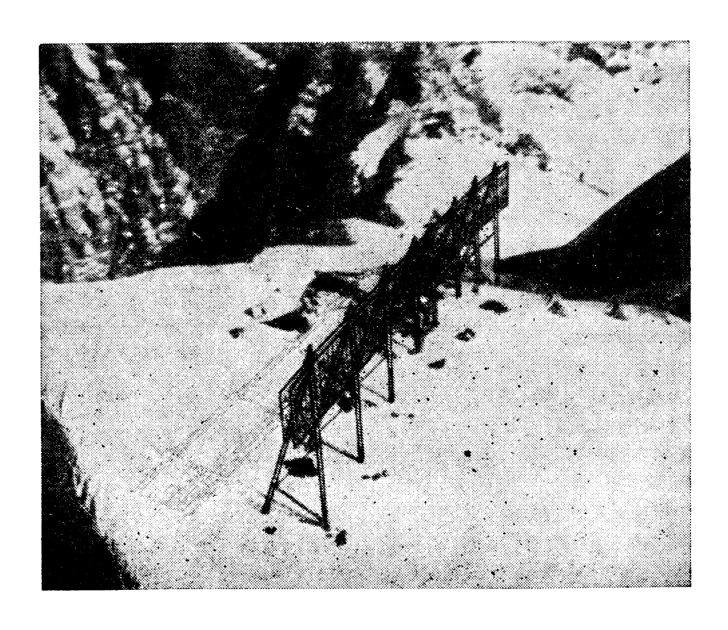


Рис. 70. Пассивный ретранслятор в виде сетки на вершине горы

ная поляризация волны. Это значит, что от передающей станции, работающей, например, с горизонтальной поляризацией радиоволны максимальный сигнал получается с антенной, установленной для приема вертикально поляризованных волн, и наоборот. Поэтому необходимо подбирать и угол наклона вибраторов антенны.

Пассивные ретрансляции необходимы, если уровень сигнала окажется мал (изображение в шумах). Его можно повысить искусственным обострением препятствия. На вершине горы, с которой приходит сигнал, поперек трассы устанавливают металлический экран-сетку (рис. 70) или натянутые на столбах параллельные провода. Верхний край экрана должен быть виден из точек передачи и приема. Эксперименты, в частности, проведенные радиофизиками Бурятской АССР, показали, что даже один провод длиной 30 м при удачном подборе высоты подвеса (5 ... 12 м) увеличивает напряженность поля в 2 раза, а система из 3 ... 9 проводов в 3 раза. При этом качество изображения существенно улучшается. В случаях, когда препятствие находится на расстоянии r намного ближе к точке приема, чем передающая антенна, оптимальная длина экрана, м, $l_э = \sqrt{2\lambda r}$. Выигрыш от обострения препятствия получается, когда вершина его сглажена, а высота над линией визирования $Z \gg \sqrt{\lambda r}$. Пассивный ретранслятор вносит ослабление как идеальный клин.

Пример. Радиопередающая станция, расположенная за горой, работает на $\lambda = 1{,}3$ м (канал 12). Расстояние от точки приема до вершины горы $r = 100$ м, длина трассы $R = 5$ км. Предполагается для повышения сигнала поставить на вершине горы пассивный ретранслятор в виде металлической сетки. Какова должна быть ее ширина?

Так как $r \ll R$, то можно воспользоваться формулой

$$l_э = \sqrt{2\lambda r} = \sqrt{2 \cdot 1{,}3 \cdot 100} \approx 16 \text{ м}.$$

Приближенный расчет напряженности поля за одиночным горным препятствием может быть сделан по формуле

$$E = E_0 V. \qquad (11)$$

Здесь E_0 — напряженность поля в условиях свободного пространства, определяемое по формуле (7), V — ослабление, вносимое препятствием. Для определения V надо воспользоваться графиком рис. 69. Предварительно надо из профиля трассы найти просветы H и H_0.

Пример. Приемная антенна затенена одиночным высоким утесом. Расстояние от вершины утеса до передающей станции $r_1 = 18{,}5$ км, а до приемника $r_2 = 1{,}5$ км. Значение закрытия H (практически это высота препятствия над высотой приемной антенны) равно 150 м. Передающая станция работает на волне $\lambda = 1{,}3$ м. Мощность станции $P = 5$ кВт, длина трассы $R = 20$ км. Требуется определить напряженность поля сигнала.

Сначала находим значение просвета по формуле (3)

$$H_0 = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 10^3 \cdot 1{,}3}{3}\left(1 - \frac{1{,}5}{(1{,}5 + 18{,}5)}\right)} = 24{,}5 \text{ м}.$$

Поскольку отношение $H/H_0 = -150/24{,}5 \approx -6$, то по кривой 3 рис. 69 для реальных хребтов имеем $V = E/E_0 = -32$ дБ. Это соответствует уменьшению поля в 1/40 раза. Подставив известные данные в формулы (11) и (7), получим

$$E = \frac{222\sqrt{5}}{(1{,}5 + 18{,}5)} \cdot \frac{1}{40} \approx 0{,}6 \text{ мВ/м, или } 600 \text{ мкВ/м}.$$

Профессиональный дальний прием ТВ программ в горной местности осуществляется через спутниковые и радиорелейные линии связи. Эти линии задействованы на сеть маломощных ТВ ретрансляторов, расположенных в горных долинах и ущельях.

Телевизионный прием от спутника

Задолго до появления искусственных спутников Земли (ИСЗ) были различные идеи установки телевизионных передатчиков на большой высоте для расширения зоны уверенного приема. Некоторые из них с использованием низколетящих летательных аппаратов применялись на практике. Так, в Советском Союзе была разработана система ТВ ретрансляции с помощью самолета ЛИ-2. В 1957 г. с помощью такой ретрансляции были организованы ТВ передачи с 6-го Всемирного фестиваля молодежи и студентов из Москвы в города Смоленск, Минск и Киев. Во время передачи самолет летал на высоте 4 км. Прямая видимость с самолета достигла 250 км. В 1961—1967 гг. самолетная ретрансляция с высоты 7 км использовалась в США для передачи учебных программ.

В иностранной литературе опубликована реклама одной из американских фирм, в которой предлагается для организации телевидения два одинаковых привязных аэростата. На борту каждого аэростата устанавливается передатчик мощностью, в зависимости от используемой частоты (60 ... 600 МГц), от 1 до 4 кВт. Передающая антенна имеет коэффициент усиления 16 ... 32. При объеме аэростата 1400 м^3 (длина 35 м, максимальный диаметр 11 м), заполненного гелием, он может поднять массу 1,5 т на высоту 1000 м. На равнинно-холмистой местности радиус зоны уверенного приема составит 85 ... 125 км, причем больший радиус получится на более низких частотах. Когда один из аэростатов поднят и находится в работе, то другой в это время опущен на землю и на нем производится профилактика оборудования, зарядка аккумуляторов, ремонт и тому подобные мероприятия. Практическая польза такого устройства очевидна. Оно может быть использовано там, где необходимо быстро обеспечить местное ТВ вещание, в частности во вновь осваиваемых районах, при замене или ремонте действующей ТВ станции и т. д.

Были идеи использовать привязной дирижабль, который может подняться на высоту 5 ... 10 км. На таких высотах для питания бортовых передатчиков предполагалось использовать энергию так называемого геострофического ветра (масса воздуха, увлекаемая вращением Земли).

Привлекали внимание и пассивные ретрансляции. В 1950 г. С. И. Китаев предложил использовать Луну как пассивный ретранслятор для ТВ сигналов. Принцип ретранслятора очень простой. Мощная передающая станция, расположенная на Земле «освещает» Луну. Отраженные от Луны радиоволны, в свою очередь, освещают значительную часть земной поверхности. Однако практическая реализация этого принципа затруднена вследствие больших потерь сигнала. Из-за неровной лунной поверхности трудно передать необходимую полосу частот. Было предложение американских ученых создать в космосе вокруг Земли «отражающий пояс» из металлических диполей. Это предложение вызвало серьезное возражение многих ученых по экологическим соображениям. Для создания пассивной ретрансляции радиоволн было предложено

применить специальное зеркало, которое парит над Землей и удерживается давлением радиоволн. Считается, что при современной технологии такое зеркало диаметром 20 м, выполненное из тончайших графитовых стержней, будет иметь ничтожно малую массу.

С появлением ИСЗ возникло спутниковое ТВ вещание. Ранее было рассказано о приеме ТВ программ на профессиональные устройства коллективного приема. В этой главе рассматривается ТВ прием на бытовые индивидуальные телевизоры прямо от бортового радиопередатчика спутника (рис. 71). Такие системы называют НТВ — непосредственное телевизионное вещание (в английском обозначении DBS, т. е. спутник прямого вещания). Системы НТВ разрабатываются и уже эксплуатируются в ряде стран. В США число приемников, предназначенных для индивидуального приема со спутника, составляет 4,3 млн. Во избежание взаимных радиопомех и недоразумений правового порядка разработка систем НТВ регламентируется международными документами. В Регламенте радиосвязи радиовещательные спутниковые системы, предназначенные для непосредственного приема населением, имеют название РВСС, причем под термином «радиовещание» понимают как телевизионное, так и звуковое вещание.

Для расчета уровня сигнала от спутника необходимо знать излучаемую мощность. Она определяется произведением мощности бортового передатчика $P_{пер}$ на коэффициент усиления антенны (в спутниковых системах он берется относительно ненаправленной антенны). При использовании симметричной параболической антенны излучаемую мощность, кВт, можно представить формулой $P = 24500 \frac{P_{пер}}{\gamma^2}$

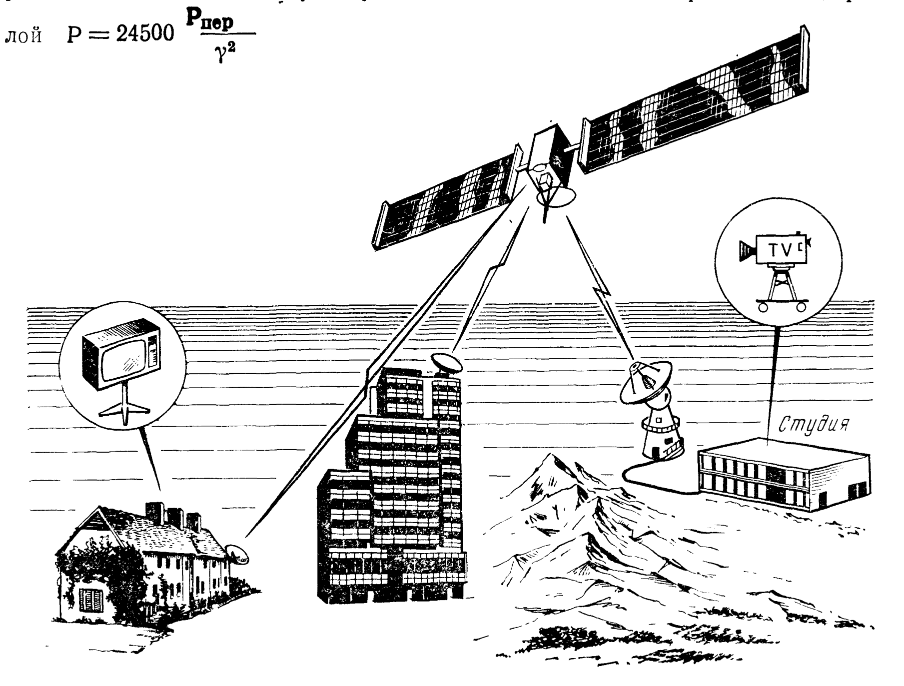


Рис. 71. Индивидуальный и коллективный (в большом здании) прием телепередач непосредственно от спутника

например, при $P_{пер}=100$ Вт и $\gamma=1°$ получаем $P=2450$ кВт (или $10\lg 2\,450\,000 \approx 64$ дБВт). Излучаемая мощность, как видим, фактически зависит от диаметра зоны обслуживания. При необходимости ее расширения надо расширять диаграмму направленности. Излучаемая мощность при этом уменьшится, она как бы расходится по большей площади.

По известной излучаемой мощности, кВт, определим напряженности поля, мкВ/м, $E = \frac{173000\sqrt{P}}{R}$.

Можно принять $R \approx 40$ тыс. км. Так, при $P=2450$ кВт получаем $E=210$ мкВ/м. Такая напряженность поля будет в центре зоны обслуживания (в точке прицеливания) при распространении радиоволн в условиях свободного пространства без дополнительных потерь. По мере удаления точки приема от точки прицеливания напряженность поля будет уменьшаться в соответствии с формой диаграммы направленности передающей антенны. Для приема сигнала без особых технических сложностей приемлемы точки, где напряженность поля будет не ниже 130 мкВ/м, — это граница зоны обслуживания.

На частотах свыше примерно 1000 МГц принимаемое поле удобнее оценивать по плотности потока мощности, т. е. по мощности излучения, проходящей через плоскую единичную поверхность, расположенную перпендикулярно направлению распространения радиоволн. Плотность потока мощности измеряется в ваттах на квадратный метр (Вт/м²) или в децибелах относительно 1 Вт/м². Если напряженность поля у поверхности Земли E, мкВ/м, то плотность потока мощности q, Вт/м², в той же точке определяется по формуле

$$q = \frac{E^2 \cdot 10^{-12}}{377},$$

где 377 — волновое сопротивление среды распространения, Ом. Например, напряженность поля $E=130$ мкВ/м соответствует плотности потока мощности у поверхности Земли $45 \cdot 10^{-12}$ Вт/м² (или $10\lg 45 \cdot 10^{-12} = -103$ дБ·Вт/м²).

Выделенные для наземного ТВ вещания частотные каналы в метровом диапазоне волн используются полностью. Наступает «насыщение» и в дециметровом диапазоне. Вероятно, по этой причине для непосредственного ТВ вещания со спутника Всемирная административная конференция по радио (ВАКР-71) выделила полосу частот 11,7 ... 12,5 ГГц (1 ГГц$=10^9$ Гц). Это соответствует диапазону волн 2,6 ... 2,4 см.

Сантиметровый диапазон удобен тем, что остронаправленные антенны получаются небольшие. Недостаток диапазона — влияние осадков. При выпадении осадков, особенно при дожде, уровень сигнала понижается. В течение наиболее дождливого летнего месяца суммарная длительность интервалов, когда наблюдалось ухудшение приема, составляла обычно несколько часов.

Полоса частот диапазона 11,7 ... 12,5 ГГц разбита на 40 каналов. Ширина канала выбрана 27 МГц для того, чтобы можно было использовать более выгодную в энергетическом отношении частотную модуляцию сигнала. Разность между несущими частотами каналов 19,18 МГц. Один и тот же частотный канал можно использовать несколько раз, если он используется в разных регионах (например, в Белорусской и Казахской ССР). Поскольку передающие антенны излучают энергию и вне главного лепестка, в зонах приема возникают взаимные (перекрестные) помехи. Для подавления такого рода помех в рассматриваемых зонах сигналы должны быть с различной поляризацией радиоволн.

Международное соглашение предусматривает определенное использование частот и позиций спутников на геостационарной орбите. Советскому Союзу выделено пять позиций с числом каналов, достаточным, чтобы распределить программы Центрального телевидения, республиканские, краевые и областные в пределах соответствующих территорий. Угловое расстояние между спутниками составляет 6° (по меридианам), на каждой позиции могут находиться несколько спутников. Ошибка в направлении положения спутников не более 0,1°. Передача сигналов с Земли на спутник осуществляется на частотах 17... ... 18 ГГц.

Техника приема ТВ сигнала непосредственно от спутника гораздо сложнее техники приема от наземных ТВ станций. В основном все проблемы возникли из-за слабого уровня спутникового сигнала и нового диапазона волн.

На сантиметровых волнах, как правило, применяется параболическая антенна. Для устранения потерь в фидере, соединяющем облучатель с конвертором (приставкой к телевизору), облучатель антенны и входные каскады конвертора выполняют в одном блоке, который называют приемной головкой. В ней частота сигнала 11,7 ... 12,5 Гц преобразуется в первую промежуточную частоту (1000 ... 2000 МГц). Сигнал на первой промежуточной частоте подается по коаксиальному кабелю на вход аппаратуры, которую можно уже расположить внутри помещения. Во внутренней аппаратуре происходит выбор канала на первой промежуточной частоте, преобразование сигнала во вторую промежуточную частоту и его усиление. На выходе усилителя второй промежуточной частоты происходит демодуляция ЧМ сигнала в амплитудную модуляцию. После этого формируется сигнал, который можно подать на обыкновенный телевизор через антенный вход в любой свободный канал (обычно в дециметровом диапазоне).

Известно, что при частотной модуляции сигнала имеется порог — минимально допустимое отношение мощностей сигнал-шум на входе приемника. За порогом, при снижении мощности сигнала или повышении мощности шума, происходит резкое ухудшение качества изображения на экране телевизора. Поэтому при выборе основных параметров аппаратуры необходимо рассчитать указанное отношение.

Мощность сигнала $P_{сиг}$ на выходе приемной системы определяется как произведение плотности потока излучаемой мощности на действующую площадь раскрыва (апертуры) антенны. Действующая площадь несколько меньше геометрической, поэтому $P_{сиг}=0{,}4qD^2$, где D — диаметр зеркала антенны, м. Пусть $D=0{,}7$ м, $q=45\cdot10^{-12}$ Вт, тогда $P_{сиг}\approx9\cdot10^{-12}$ Вт (—110,5 дБ·Вт).

В сантиметровом диапазоне волн, кроме тепловых шумов приемников, учитываются шумы, обусловленные космосом, атмосферой и Землей. Шумы Луны и звезд, кроме Солнца, не принимаются во внимание, так как предполагается, что попадение их в узкий лепесток диаграммы направленности приемной антенны маловероятно. Атмосферные шумы связаны с излучением кислорода и водяных паров. Их уровень увеличивается с изменением угла возвышения антенны на спутник, поскольку при малых углах толщина атмосферного слоя получается больше. Земная поверхность, как и любое нагретое тело, является источником шумов. Поскольку главный лепесток приемной антенны по отношению к Земле направлен под некоторым углом, шумы Земли «собирают» боковые лепестки диаграммы направленности. Для снижения этого шума при конструировании антенн стараются уровень боковых лепестков свести к

минимуму. Собственные шумы приемника уменьшают с помощью специальных схем первых каскадов. Воздействие шумов оценивается шумовой температурой T (в градусах Кельвина). В зависимости от качества приемника его шумовая температура может быть от нескольких тысяч до ста градусов. (Стоимость приемника с температурой шума 300 K в 3—4 раза выше стоимости приемника с температурой шума 1000 K.)

Мощность шумов приемника, Вт, $P_ш = 1{,}38 \cdot 10^{-17} T \Delta f$, где Δf — полоса пропускания ТВ приемника, МГц. При $\Delta f = 27$ МГц и $T = 700$ K получим $36 \times \times 10^{-13}$ Вт (—126 дБ·Вт). Тогда отношение сигнал-шум

$$\frac{P_{сиг}}{P_ш} = \frac{9 \cdot 10^{-12}}{2{,}6 \cdot 10^{-13}} \approx 34{,}6\,(15{,}3\,дБ).$$

Для удовлетворительного приема в 99 % времени наихудшего летнего месяца требуется отношение сигнал-шум не меньше 15 дБ, поэтому в нашем примере выбор параметров сделан правильно.

В технике спутникового радиоприема существует параметр, по которому сразу можно сказать о качестве (добротности) приемной аппаратуры. Он определяется отношением коэффициента усиления антенны к шумовой температуре приемника T. Чем больше отношение G/T, тем лучше аппаратура. Для индивидуального приема от спутника требуется $G/T \gtrapprox 4$ (6 дБ/К). Этому условию, в частности, удовлетворяет приемная установка с диаметром зеркала антенны 0,7 м ($G = 3920$) и температурой шума 700 K.

Приемная антенна, как было видно выше, оказывает большое влияние на уровень сигнала. При удвоении диаметра зеркала мощность сигнала возрастает в 4 раза. Однако для приема в границах нормальной (расчетной) зоны обслуживания диаметр антенны выбирают около 1 м. Стоимость и установка антенн диаметром 3 м — уже серьезная проблема. Антенны небольшого диаметра при серийном изготовлении изготавливают литьем под давлением полимерных пластмасс. Пластмассовое зеркало затем металлизируют. Большие антенны изготавливают по заказу. Профиль зеркала должен быть выполнен с большой тщательностью. Отклонение от теоретического профиля не должно превышать 0,5 мм ($\lambda/40$). Антенны следует очень хорошо закреплять на опоре. Опора ставится на бетонную крышу здания или на землю, но с хорошим фундаментом. Чем больше размеры антенны, тем жестче должно быть крепление. Очень важно, чтобы в направлении на спутник антенна не закрывалась препятствием (зданием, деревом). Поскольку длина волны невелика, просвет между электрической осью антенны и краем препятствия может быть небольшим [см. формулу (3)].

Ориентирование антенны на небосклон в направлении на требуемый спутник без предварительных расчетов практически невозможно. Обязательно необходимо определить угол возвышения (угол места) антенны θ. Установив антенну под этим углом, осуществляют поиск максимального сигнала, поворачивая ее в горизонтальной плоскости с юга на запад и обратно. Для расчетов необходимо знать географические координаты спутника и точки приема. Координаты спутника всегда известны. Координаты точки приема определяют по географической карте с точностью до десятых долей градусов.

Обозначим через ψ_1 — долготу точки приема; ψ_2 — долготу спутника; φ — ширину (северную) точки приема. Порядок расчета угла возвышения. Находим сначала разность долгот (обязательно с учетом знаков, минус берется для за-

падной долготы): $\Delta\psi=\psi_1-\psi_2$. Из уравнения $\cos C=\cos\Delta\psi\cdot\cos\varphi$ находим C — угловое расстояние между точкой приема и положением спутника над экватором, град. Угол возвышения находим из формулы $\theta=\mathrm{arctg}\,\frac{\cos C-0,15105}{\sin C}$. Ориентировка значительно упростится, если определить и азимутальный угол на спутник. Азимут β отсчитывается в направлении от севера по часовой стрелке и определяется по формуле

$$\beta=180+\mathrm{arctg}\,\frac{\mathrm{tg}\,\Delta\psi}{\sin\varphi}.$$

При отсутствии геодезического инструмента (теодолита, буссоли) угол возвышения можно отсчитать от линии отвеса (нити с грузом) с помощью транспортира. Азимут можно найти, ведя отсчет от Полярной звезды, которая находится в направлении на север. Чтобы найти на небосклоне эту звезду, находящуюся в созвездии Малой Медведицы, надо сначала отыскать созвездие Большой Медведицы; оно представляется в виде огромного, хорошо заметного ковша из семи ярких, широко расставленных звезд; затем мысленно продолжить прямую через две крайние звезды Большой Медведицы на расстояние, равное примерно пятикратному расстоянию между ними (рис. 72). В конце этой прямой легко найти Полярную звезду. Яркость ее такая же, как у крайних звезд Большой Медведицы. Для фиксирования на местности направления геог-
э меридиана с места на-
нужно построить створ из
э поставленных вех.

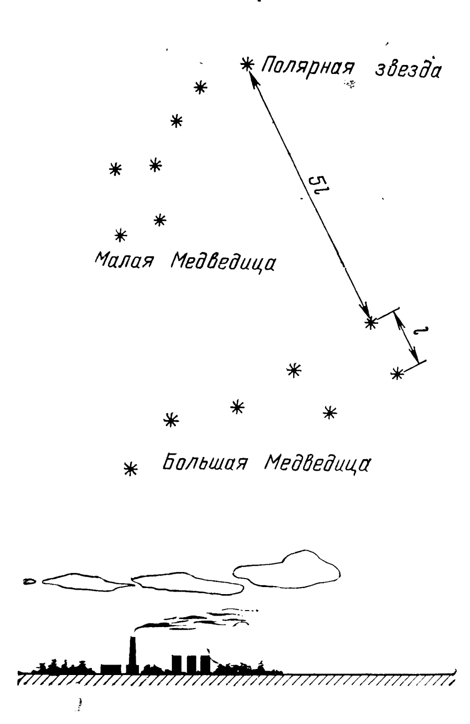


Рис. 72. Способ опр
звезды

Список литературы

1. **Кукаев А. А.** Индивидуальные телевизионные антенны//Телевидение Радиовещание. — 1988. — №№ 4, 6.
2. **Варбанский А. М.** Телевидение через спутники//Радио. — 1989, №№ 5, 6, 9, 11, 12.
3. **Варбанский А. М.** Телевизионная сеть страны//Наука и жизнь. — 1986. — № 3.
4. **Онищенко И. П.** Приемные телевизионные антенны. — М.: ДОСААФ, СССР, 1989.
5. **Шпиндлер Э.** Практические конструкции антенн. — М.: Мир, 1989.

ОГЛАВЛЕНИЕ

2 р.



Ближний
и дальний
прием
телевидения

Издательство «Радио и связь»